Сергей Юриздицкий

Реальность – камера - экран.

Размышления без математики.

2017

Содержание.

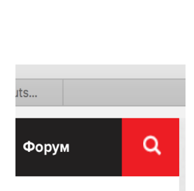
От автора

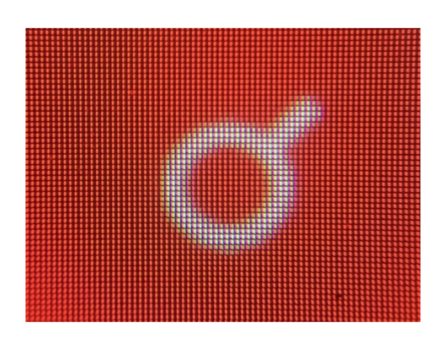
Эта работа не касается творчества, она знакомит с техническими особенностями создания изображения. Современные съёмочные камеры в обычных условиях позволяют автоматически получать нормальное изображение без особых знаний. Сложные ситуации часто возникают при контрастном освещении. Определение экспозиции в этом случае требует понимания возможностей камеры. Съёмка видео упрощается использованием гистограммы, зебры, графика формы волны. В кино применяются камеры с расширенным динамическим диапазоном. В этих случаях знание реальной светочувствительности и динамического диапазона сенсора камеры позволяет использовать экспонометрические измерения в дополнение к показаниям контрольных приборов камеры. При работе с плёнкой мы пользовались сенситиграммой, могли определить минимальную и максимальную яркости воспроизводимые пленкой при данной экспозиции. Аналогично в цифровом процесе можно использовать градационную кривую для определения этих границ. Существующая технология не включет в себя такую “цифровую сенситометрию”, однако, я считаю, что использование градационной кривой облегчет процесс выбора режима экспозиции, расширяет творческие возможности.

1.Объект и изображение.

Что мы видим? Не стану повторять общеизвестное: о физической сущности света, узком волновом диапазоне видимих лучей и т.д., нам важно знать какая разница между светлым и тёмным доступна зрению и камере. Равномерно освещённое прстранство обычно имеет диапазон яркостей от 1:40 до 1:60. Это примерно 5 удвоений яркости. С небольшим преувеличением можно определить динамический диапазон восприятия яркостей равным 5 бит. (2^5 =64). Это относится в равной степени к наблюдению реальности и просмотром любых изображений. В природе разница яркостей в равномерно освещённом объекте примерно такая же – 1:64. При наличии затенённых частей и бликующих поверхностей разница может быть 1:1000 и больше. В живописи выработанны приёмы, позволяющие отобразить повышенный диапазон, снижая контраст в тенях и светах картины. Аналогично в цифровом процессе обработки изображения мы, изменяя локальный контраст, можем избежать потери деталей в тенях и светах изображения.

Камера записывет изображение в виде файлов, содержащих в цифровой форме информацию о величине электрических сигналов, возникающих от воздействия света на светочувствительные элементы, затем видео карта воспроизводящего устройства создаёт цифровые сигналы, с использованием кодированных величин и профайлов, в которых записаны данные для правильного воспроизведения яркостей и цвета. Цифровые сигналы на экране монитора образуют яркости. При увеличении заметно, что каждый пиксел состоит из 3 субпикселов: красного, зеленого и синего:





2. Графическое представление воспроизведения в цифровом процессе.

Качество изображения мы оцениваем в разных условиях. Это может быть отпечаток на бумаге, изображение на мониторе или на экране. Чтобы иметь возможность измерения яркости и контраста надо принять систему единиц измерения и связать их с характеристиками объекта. Градационная кривая наглядно показывает зависимость цифровых значений яркостей в изображении от экспозиции.

Прежде, при работе с киноплёнкой, мы опирались на графическое отображение реакции плёнки на свет в виде сенситограммы. Так мы определяли светочувствительность, контраст и широту возможного воспроизведения. В цифровом процессе можно построить аналогичный график.

При работе в формате RAW знание реальной светочувствительности и динамического диапазона сенсора камеры позволяет в полной мере использовать возможности записи изображения. Диапазон яркостей объекта, воспроизводимый плёнкой, показывала сенситограмма. Аналогично в цифровом процессе можно использовать **Градационную кривую** для определения этих границ.

Использование градационной кривой облегчет процесс выбора режима экспозиции, расширяет творческие возможности. Контрольные графики – гистограмма (**Histogramm**), зебра (**Zebra**), график формы волны (**Waveformmonitor)**, демонстрация на мониторе яркостей фиксированных значений (**False color display), предупреждение о наличии цифрового шуму (**Goal posts)**, уведомление пересветке в одном из каналов (**Traffic Lights)** - помогут настроить камеру при съёмке. Однако, кроме двух последних, эти графики дают информацию для формата вещания Reg709. В этом формате мы видим изображение на экране монитора при съёмке. Динамический диапазон при этом не превышает шести удвоений экспозиции (6 стопов). Киносъёмка возможна с использованием 10-14 стопов. Вывод на экран такого изображения хотя и позволяет пользоваться контрольными графиками, дает изображение низкого контраста, неприемлемого для визуальной оценки результата. Объективно оценить широту воспроизведения камеры с различными настройками можно с помощью съёмки теста и построения **градационной кривой**.

Чтобы построить кривую нужно провести тест. Мы получим возможность судить о чувствительности сенсора камеры и воспроизводимом динамическом диапазоне. Описание особенностей образования цветного изображения требует отдельного рассмотрения, в данной работе речь идёт о воспроизведении серой шкалы. От её вида зависит цвет и контраст на экране.

Предлагаемый метод построения градационных кривых не требует применения сложного оборудования. Камера, нотбук, использование нескольких программ - вот, что нам понадобиться. Градационная кривая позволяет оценить

светочувствительность и динамический диапазон конкректной камеры.

Можно графически показать, как свет, излучаемый объектом, попав на сенсор камеры, пройдя процесс преобразований через процессор камеры и видеокарту компьютера, влияет на яркость деталей на экране. Цифровые значения яркостей зависят от уровней электрического сигнала, которые преобразуются в аналого - цифровом преобразователе и создают яркости на экране в зависимости от особенностей устройства воспроизведения. **Одинаковые значения цифровых яркостей воспроизводятся по-разному в зависимости от заданных установок, технических особенностей и состояния монитора или проектора.** Далее мы рассмотрим ход преобразований из линейного в нелинейное, влияние гаммы монитора и т.д. Нам важно, как экспозиция влияет на конечную яркость изображения. Цветокоррекция измененяет характер изображения для создания стандартного вида картинки или применения особых эффектов, она может быть проведена с использованием заранее рассчитаных «видов на столе» (LUT – Look up table), или с помощью многих приёмов, применяемых в программе цветокоррекции. Яркости деталей изображения можно менять инструментом Curve. Его действие идентично применению других инструментов, которые существуют для удобства управлением яркостью и цветом. Кривые (Curve) управляют изменениями яркости. Градационная кривая меняет форму согласно изменением формы кривых (Curve). Можно показать, как это происходит. В этом смысл построения **кривой воспроизведения**.

На первом этапе построим градационную кривую. Начнём с системы координат.

На горизонтальной оси можно расположить значения **EV** (уровни экспозиции), ***ρ*** (коэффициенты отражения), значения **N** - диафрагмы объектива при данной выдержке (скорости съёмки), светочувствительности **ISO.**

N		22	16	11	8	5,6	4	2,8	2	1,4	1
ISO		6400	3200	1600	800	400	200	100			
ρ	0,007	0,015	0,03	0,06	0,12	0,25	0,50	1	2		
ρ %	0,75	1,5	3,1	6,2	12,5	25	50	100	200		

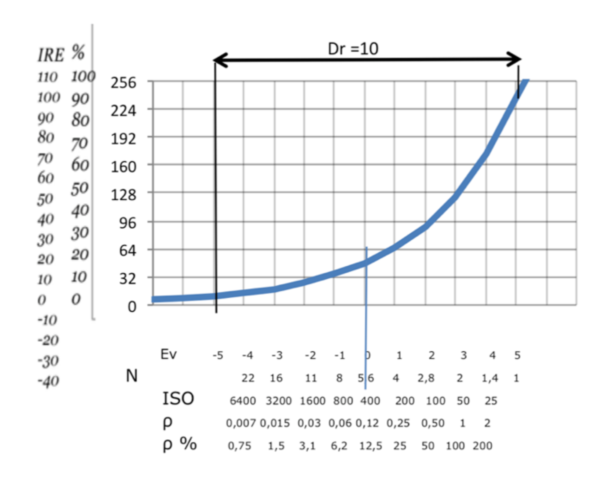
Шкала EV показывет уровни удвоения относительной яркости объекта на каждом следующем делении.

Определяя экспозицию, мы задаём светочувствительность (ISO), выдержку и после измерения контрольного поля шкалы по яркости получаем значение диафрагмы (N). Если изменить на измерительном приборе значение ISO, получим другое значение диафрагмы. Яркость контрольного поля звисит от освещённости и коэффициента отражения. Горизонтальные ряды ISO и N связаны. При определённой освещённости контрольного поля изменение величины ISO ведёт к изменению диафрагмы. Соответственно выбранному значению ISO расположится значение ***ρ*** – коэффициента отражения, на который настроен измерительный прибор - яркомер – Спотметер. По стандарту ANSI яркомер настроен на величину ***ρ=0,125***.

Вертикальная ось графика представляет уровни цифровых яркостей, они могут быть выражены в ступенях или процентах RGB, в процентах электрического потенциала (IRE). Эти уровни определяются форматом записи, зависят от данных, записанных в профайле: цветовых коэффициентов,

определяемых заданной цветовой температурой, цветового пространства, гаммы изображения и заданной точкой белого. **Величины цифровых яркостей не зависят от настроек монитора.** Но наблюдаемая яркость зависит от контраста и цветового профиля монитора.

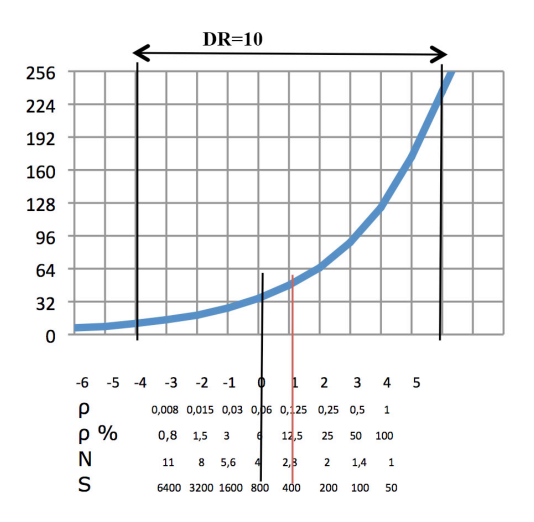
Приведем график градационной кривой изображения серой шкалы, снятой в формате RAW. Контраст монитора здесь равен 1:256.



0 EV – это относительная яркость детали в объекте с коэффициентом отражения 0,125. Это стандартный коэффициент отражения на который расчитан яркомер (Спотметер). На этом уровне шкалы находится величина светочувствительности, которую мы устанавливаем на яркомере (Спотметре) при измерении экспозиции по яркости контрольного поля. Это - предполагаемая светочувствительность. Настоящая, эффективная светочувствительность будет определенна после построения градационной кривой. Её величина определяется по положению точки на шкале экспозиций, соответствующей

диафрагме, установленной при съёмке. На этом уровне градационная кривая показывает некоторую яркость, которая должна соответствовать критерию светочувствительности. Её положение может быть соотнесено с серединой динамического диапазона.

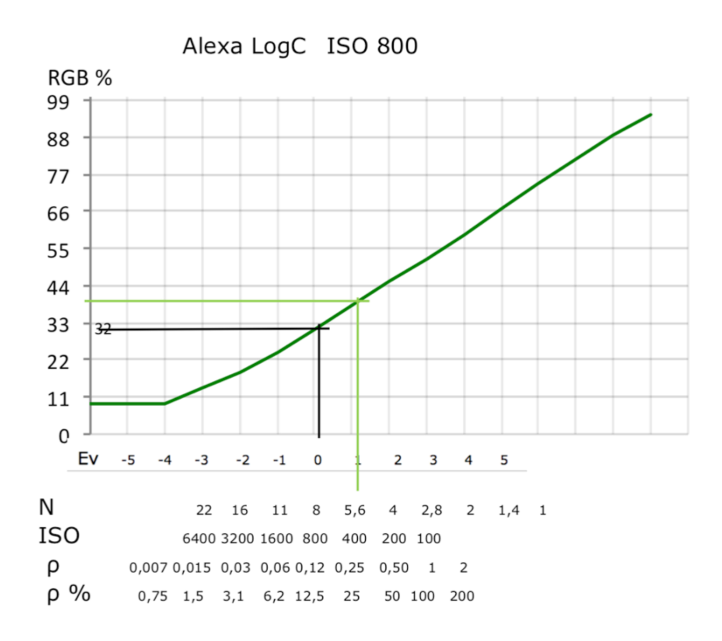
Например, предполагаемая светочувствительность – ISO 800, положение этой точки на графике тоновой кривой на оси экспозиций сдвинуто вправо на 1 деление, значит эффективная светочувствительность будет – ISO 400. На графике черная вертикаль показывает предполагаемую светочувствительность, красная – эффективную. Она находится посредине динамического диапазона.



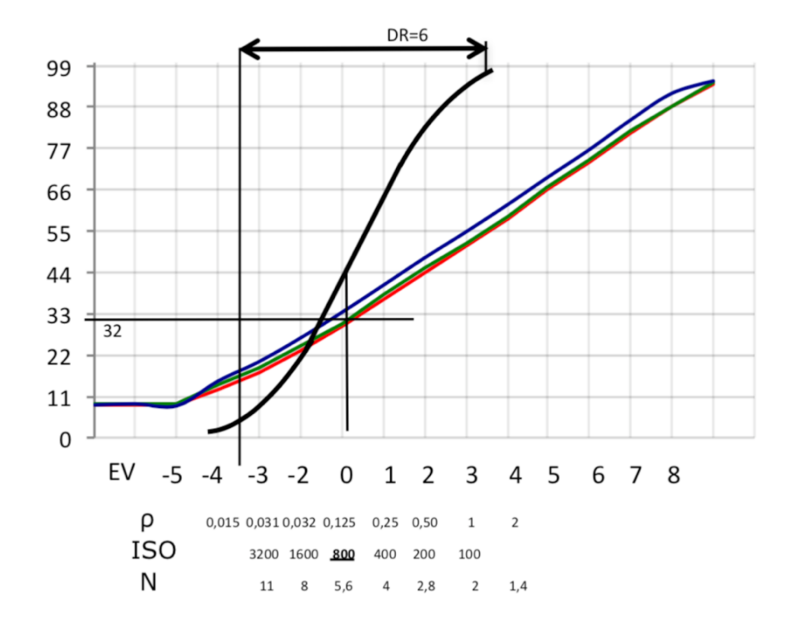
Стандарт при работе с камерой Алеха в формате записи C-log предлагает другой критерий светочувствительности. Серое поле контрольной шкалы Kodak должно иметь яркость в RGB 32%. Построив градационную кривую при установленной светочувствительности ISO 400, получим при диафрагме, определённой при съёмке серого поля

шкалы Kodak, цифровую яркость в зелёном канале - 39%. Согласно стандарту, яркость должна иметь величину 32%. Для получения такой яркости надо установить светочувствительность как ISO 800.

Приведём эти данные на графике. Зеленые линии показывают предполагаемую светочувствительность. Чёрные – эффективную.



При преобразовании изображения в стандарт Reg 709 контрольное поле шкалы Kodak по стандарту должно иметь яркость в RGB 42% - 38%. На графике видно, что на чёрной кривой (воспроизведение в Reg709) яркость в RGB при ***ρ=0,125*** имеет значение около 40%.



Возможны индивидуальные критерии: например, уменьшение заданной чувствительности для получения изображения с наименьшим шумом.

Динамический диапазон воспроизводимых яркостей в современных камерах может достигать значения DR=14. Далее мы увидим, что возможность использования динамического диапазона зависит от контраста воспроизведения. При кинопроекции возможен контраст 1:1000, это 10 удвоений. Обычно он не превышает значения 1:500 (9 удвоений).

Шкала яркостей соответствует свойству зрения, при котором впечатление одинакового изменения уровня яркости даёт не добавление, а умножение её значения. Запись изображения происходит с применением математического преобразования электрических сигналов сенсора камеры. Это может быть гамма

кодирование или логарифмическое преобразование, которые позволяют эффективно использовать необходимый для записи поток данных. Кроме того, применяются доступные в меню конкретной камеры установки Cinelike, Cinegamma, локальные изменения наклона кривой с помощью функции «колено» (Knee), или другие методы. Все они изменяют вид изображения при записи аналогично работе при цветокоррекции. Настройки могут расширить диапазон записи тонов – они изменяют яркость отдельных частей изображения, выделяют из полного диапазона часть тонов в соответствии с желаемым результатом. Этот результат сложно оценить по изображению на экране полевого монитора. Монитор в студии покажет иную картину. Необходимо пользоваться при съёмке показаниями контрольных графиков «Форма волны» и Гистограммой. Встроенные контрольные приборы показывают сигнал согласно установленному профилю в меню камеры. При съёмке в формате RAW, аналого-цифровой преобразователь камеры записывет сигналы без учёта настроек в меню. Настройки записываются дополнительно и поступают с изображением в виде метаданных в профайлах, их можно учесть при воспроизведении, а можно проигнорировать. Контрольные графики на мониторе показывают уровни сигнала в зависимости от формата записи. При этом на некоторых камерах возможно воспроизведение изображения на мониторе и на графиках одновременно в разных форматах. Например, на мониторе камеры RED гистограмма зависит от показа изображения в RAW или в Reg709, а показания уровней Goal Posts и Trffic Lights дают информацию с сенсора, без учета формата показа на мониторе. Выбор величины светочувствительности зависит от допустимого уровня шума, который мы

определяем индивидуально. Камеры разных производителей могут в формате RAW фиксировать величину ISO, или записывать её в метаданных. Тест при разных чувствительностях покажет реальное влияние установки в меню. При обработке изображений, снятых камерой RED, рав конвертор предлагает выбрать величину ISO для конвертации или использовать метаданные. Blackmagic записывает RAW в виде цифровых DNG файлов. Их можно конвертировать например в рав конверторе RPP и получить градационные кривые при разных чувствительностях без учета метаданных.

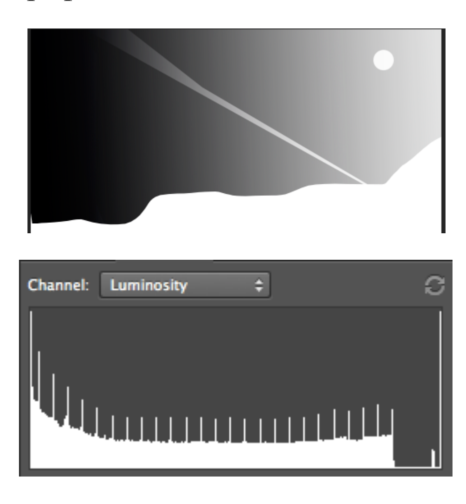
9. Контроль экспозиции.

Самым доступным методом контроля экспозиции является Зебра. Установив уровень зебры на 70, 90 процентов мы увидим на экране монитора заштрихованные области изображения с яркостью соответствующей выбранному значению. Так при значении 70% появиться штрихи на нормально освещённом лице. При 90% штрихи будут на светлых деталях, которые можно воспроизвести без потери деталей. Оценка экспозиции по зебре удобна при записи в режиме видео - формате Reg709. Динамический диапазон ограничен 6 удвоениями.

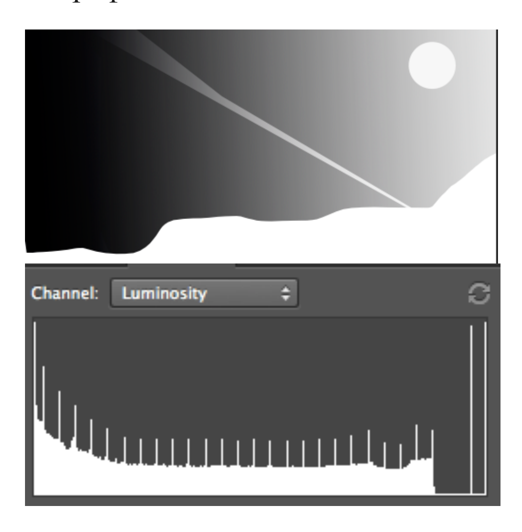
При киносъёмке динамический диапазон может быть значительно больше. В этом случае контроль по зебре недостаточен, хотя он позволяет быстро установить режим экспозиции без опасности недодержки при съёмке равномерно освещённых объектов. Съёмка при контрастном свете, ночная съёмка часто требует сдвига экспозиции в светлую сторону для записи с минимальным шумом темных деталей. В этих условиях зебра бесполезна.

Другим важным контрольным прибором является **Гистограмма.** Этот график показывает, какую площадь занимают в изображении детали различной яркости. По горизонтали расположены яркости. По вертикали – количество пиксел, дающих соответствующую яркость. Масштаб вертикальной шкалы определяется разными устройствами по-разному, поэтому пики графика могут быть срезаны из–за недостатка высоты.

Понимание зависимости вида гистограммы и желаемого качества изображения приходит с опытом. Прежде всего надо понять, что по вертикали мы наблюдаем взлёты и падения кривой в соответствии с тем какую площадь в изображении занимает та или иная яркость. При этом масштаб вертикали меняется в зависимости от величины площади. Например, яркое пятно на тёмном фоне может выглядеть, как мало заметный пик над низкой ступенчатой равниной, если черный фон занимает значительную часть изображения и выражен на гистограмме обрезанным пиком, выходящем по высоте далеко за пределы графика.



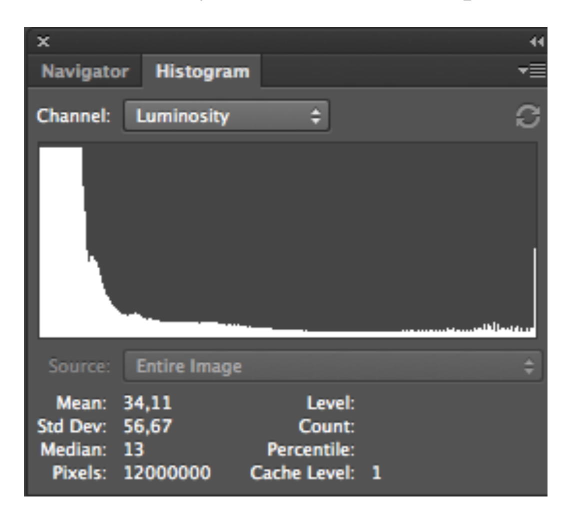
Круг малой площади отражён короткой линией справа на графике.



Круг вырос незначительно, однако его отображение на графике почти упирается в верхнюю границу. Крайняя правая вертикаль отражает площадь белого пространства внизу картинки, она не изменилась. Площадь серого стала немного меньше, за счёт увеличения круга. На графике видно ямку, которая образовалась на месте яркостей, перекрываемых кругом. Здесь серого стало меньше. Это почти незаметно.

Из определения принципа построения гистограммы не легко понять, по какому закону меняется масштаб значений по вертикали. Если добраться до сути, прочитаем об относительном значении количества пиксел данной яркости. Относительно чего? Максимального значения? Нет, не получается при анализе гистограмм в Photoshop. Среднего значения? - тоже нет. Пишут о среднеквадратичном значении, но это уже область сложной математики. Короче говоря, масштаб по вертикали скачет от картинки к картинке.

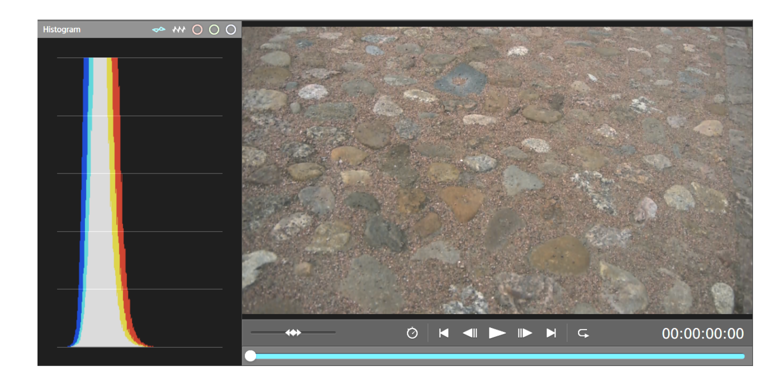
К чему это приводит при оценке изображения по гистограмме? Форма графика не имеет значения. Важно обратить внимание как он растянут или сжат по горизонтали. Растянутый по горизонтали график свидетельствует о высоком контрасте изображения.



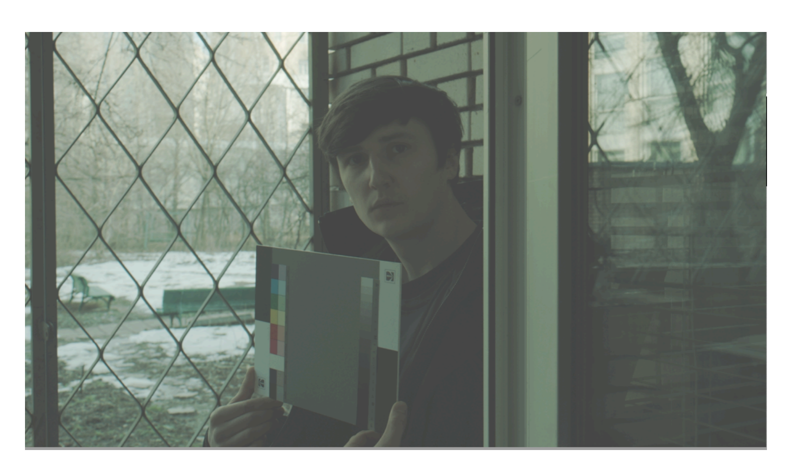


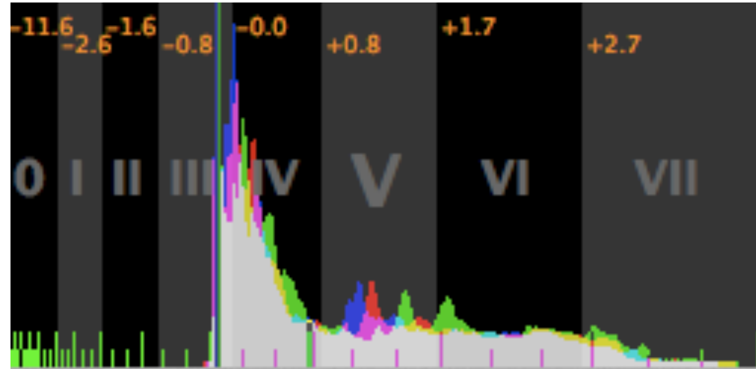
В самом деле – в этом случае изображение состоит из самых тёмных и самых светлых деталей.

Сжатый вид свидетельствует о малом контрасте.



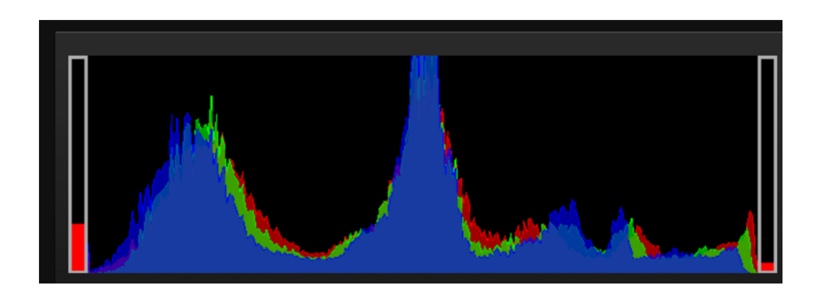
Отсутствие деталей высокой и низкой яркости – признак малоконтрастного изображения.





Важно: **Гистограмма показывает значения в соответствии с форматом вывода на монитор.** Если формат записи отличается от формата вывода, судить о пределах диапазона записанных яркостей невозможно.

Гистограмма при работе с камерой RED имеет справа и слева 2 шкалы, называемые **Goal Posts**.

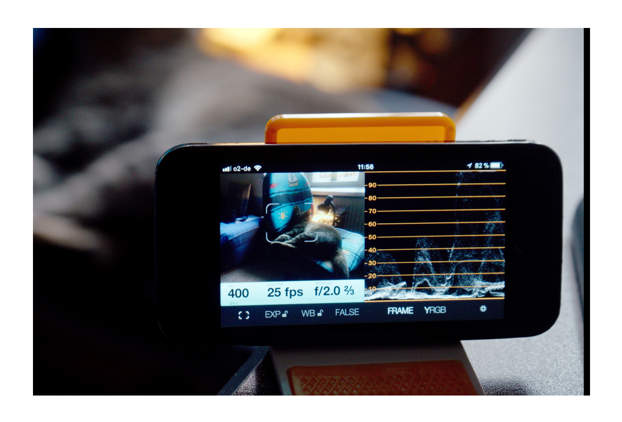


они показывают результат оценки уровна шума и наличие пересветки (Clipping) без учета формата воспроизведения на мониторе, непосредственно в RAW. Шкалы учитывают четверть (25%) общего колличества пиксел. Левая дает информацию о наличии шума. Рекомендуется следить за тем, чтобы высота красного не превышала половины шкалы. Правая показывает наличие пересветки (Clipping). Кроме того рядом с гистограммой находится «Светофор». Он показывает в каком именно канале имеется пересветка

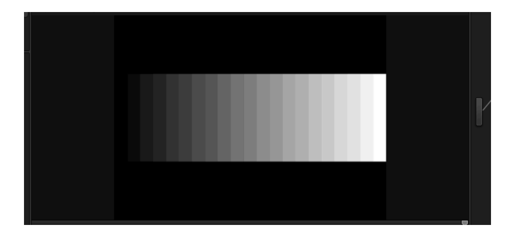


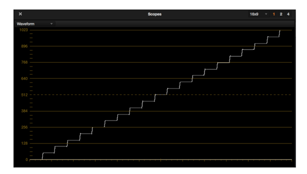
Если при съёмке доступны графики **Форма волны** (Waveform), важно пользоваться ими, как наиболее надёжным средством контроля.

Для контроля по «Форме волны» можно использовать смартфон с установленной программой (App) Cine Meter. С учётом того, что контроль будет вестись в формате Reg709, Возможности записи светлых и темных деталей при широком динамическом диапазоне этот прибор не даст.



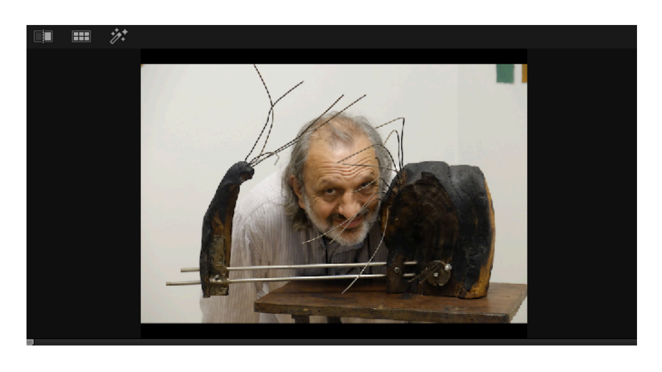
Вот как выглядит на мониторе серая шкала и её вид в форме волны:

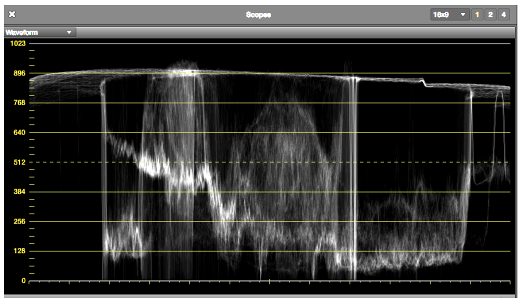




Форма волны показывает, как распределяются яркости в пространстве изображения. Изображение серой шкалы на графике выглядит как ступени нарастающей яркости. Вертикальная ось графика может показывать величины яркостей в процентах, единицах Ire, или в значениях яркостей RGB с различным контрастом. Например, максимальная яркость RGB может быть показана величиной 1027 при контрасте 1:1024, или 255 при контрасте 1:256. В обоих случаях – это максимально белое – 100%, 110 Ire. Раньше было принято считать, что на контрольном графике формы волны тёмного изображения минимальная яркость самой светлой детали должна быть не менее 50%. Изображение тёмных сцен при соблюдении этого условия выглядит нормально на экране телевизора. Современные экраны способны воспроизводить изображение с увеличенным диапазоном яркостей, тёмные сцены могут иметь меньшую яркость. При съёмке надо следить за уровнем чёрного, опуская самые темные детали до нулевой отметки на графике. Яркие детали не должны превышать уровень 100%. Блики, не содержащие важной информации, могут иметь яркость больше 100%, они будут выглядеть как самое белое на экране.

Реальное изображение после цветокоррекции





На графике видно расположение темных и светлых деталей в пространстве изображения.

При съёмке график формы волны показывает распределение яркостей в кадре в соответствии с заданным профилем. Это может быть профиль видео стандарта **REC 709**, профиль камеры с учетом формата записи, например при записи в формате **Log C** или профиль с учетом метаданных в виде сохранённого для воспроизведения на мониторе **LUT** (Look up table). При воспроизведении на мониторе профиля REC 709 происходит имитация цветокоррекции в соответствии с возможностями телевизионного показа, ограниченного широтой 6 удвоений - поэтому форма волны не отражает весь реальный диапазон яркостей, записанных и

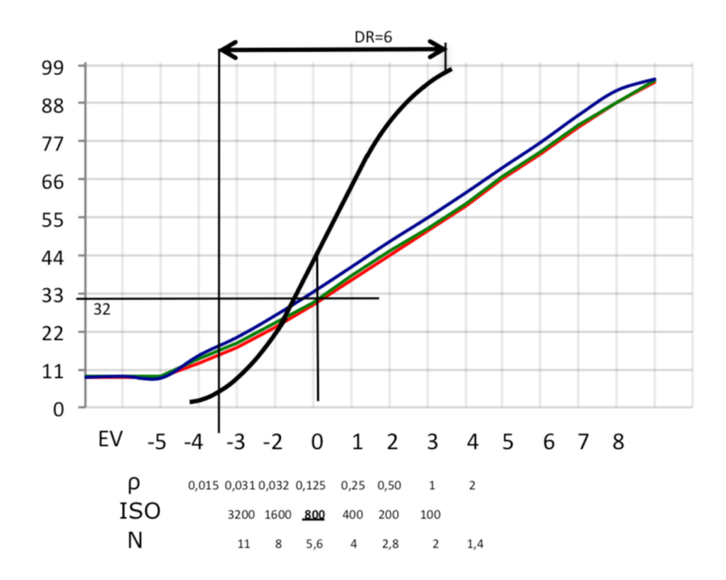
возможных для воспроизведения. Для видео съёмки рекомендуется уровень белого RGB 235 235 235 (90%). Максимальная яркость 100% остаётся для „самого белого’’ - бликов. При выводе на монитор с профилем воспроизведения Log C, изображение выглядит малоконтрастным, почти бесцветным. Например при динамическом диапазоне 13 Δ EV получаем такое изображение:



После коррекции изображение достигает нормального контраста. Динамический диапазон уменьшился, стал равен 6 Δ EV.

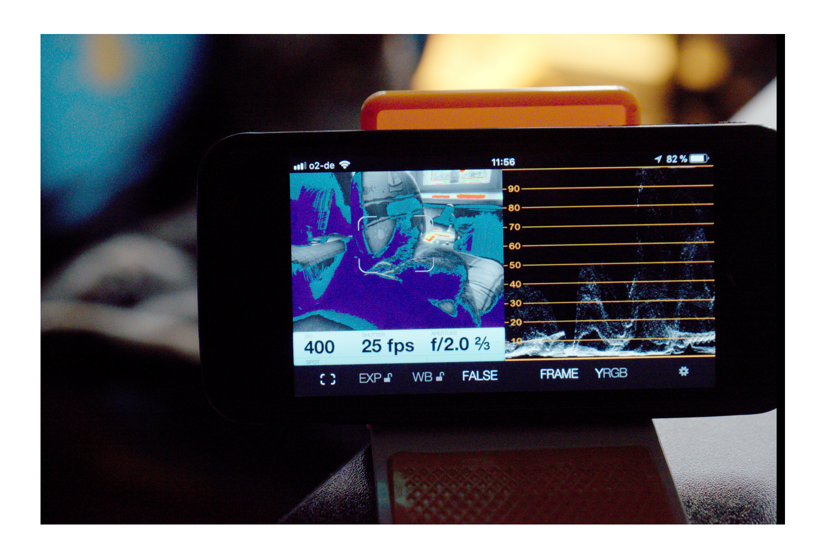


Черная линия на графике показывает, как отражаются яркости на мониторе в формате Rec709. Часть записанного изображения «срезается».



При «нормальном» отображении на мониторе с профилем Rec709 или LUT форма волны не даёт оператору представления о максимально возможной записи деталей в тенях и в светах. В этом случае необходимо пользоваться экспонометрическими приборами. Тестирование камеры даёт представление, как выглядят тональные кривые, отражающие в полной мере возможности матрицы в отношении широты воспроизведения.

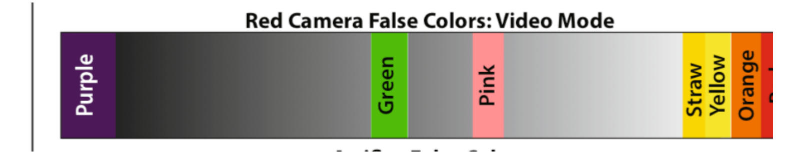
Демонстрация на мониторе ложных цветов (**False color display)** позволяет определить области в изображении с яркостью фиксированного значения. Так App Cine meter показывает фиолетовым цветом яркости около 5%, голубым около 15%, красным около 90%



На мониторе Alexa ложные цвета отображаются в соответствии с этой таблицей:

What	Signal Level	Color
White clipping	100% - 99%	red
Just below white clipping	99% - 97%	yellow
One stop over medium gray (Caucasian skin)	56% - 52%	pink
18% medium gray	42% - 38%	green
Just above black clipping	4.0% - 2.5%	blue
Black clipping	2.5% - 0.0%	purple

Камера RED показывает в этом режиме такие цвета



3. Определение экспозиции

Определим объект, как совокупность яркостей. Детали объекта отражают или испускают свет.

Несветящиеся детали отражают свет, их яркость определяется коэффициентами отражения «ρ». Светящиеся детали расширяют диапазон яркостей. Спектральное отражение природных материалов в красной, зелёной и синей зонах спектра близки по величине. Мы различаем цвета поскольку глаз реагирует на эту малую разницу. Монохромный светофильтр, с помощью которого оператор оценивает визуально контраст объекта, не «удаляет цвет», а смещает цвет объекта в зону, к которой глаз не успел адаптироваться. Если смотреть через такой фильтр 2-3 минуты – впечатление цветности деталей восстановится. Мы будем рассматривать, главным образом, изображение серых деталей. Так определяются общие закономерности экспонирования. В таблице показаны коэффициенты отражения в зонах спектра. Средний, визуальный коэффициент отражения (ρ) соответствует отражению в зеленой зоне.

Таблица 1.

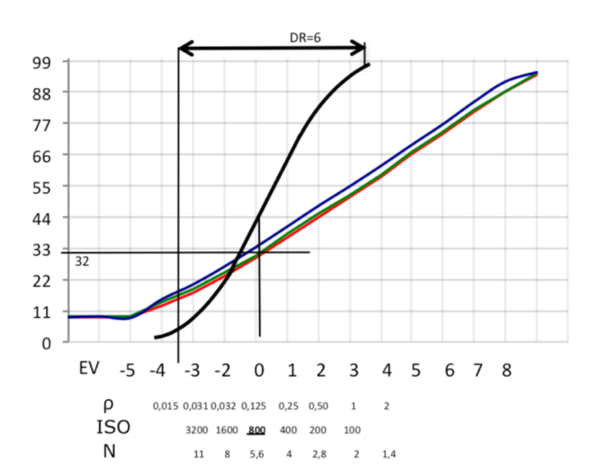
Спектральные коэффициенты отражения некоторых объектов съемки (%)

Объекты съемки	Зона спектра			Визуальный коэффициент отражения
	синяя	зеленая	красная	
Лицо блондина	25	39	61	40
Лицо брюнета	21	35	58	36
Хвойный лес зимой	1,7	3,0	2,7	3
Хвойный лес летом	3.6	7.4	7,8	7,5
Лиственный лес летом	4,2	11	9,4	11
Трава весной	5,4	16	10	16
Трава летом	1,4	9.5	3,1	9,5
Песок	12	22	28	22

Для определения экспозиции представим себе каждую деталь объекта, как некоторое серое поле, с коэффициентом отражения ρ .

Яркость в объекте определяется освещённостью и коэффициентом отражения ρ. В объекте встречаются детали, отражающие свет зеркально, а также светящиеся детали. Поэтому объект -

совокупность относительных яркостей «L» (Luminance). Это понятие определяет режим экспонирования. Установив экспозицию (при киносъёмке диафрагму и скорость сьёмки), мы задаём яркостям объекта определённые относительные значения. Измерение экспозиции предполагает наличие в объекте **ключевой яркости.** Она связанна с **ключевой освещённостью** через коэффициент отражения. Выбор ключевой яркости влияет на режим экспонирования и на результат воспроизведения на экране. Можно выбрать ключевую яркость так, чтобы на экране она находилась посредине шкалы тонального воспроизведения. Положение середины шкалы зависит от возможного воспроизведения динамического диапазона. Так при динамическом диапазоне **5 ΔEV** (5 удвоений экспозиции) середина приходится на яркость с *ρ*=0,18. Это соответствует возможности воспроизведения результата при печати на бумаге. Обеспечивается отображение яркостей от 2,5% (черное) до 80% (белое). При динамическом диапазоне **6 ΔEV** середина будет при значении *ρ*=0,125

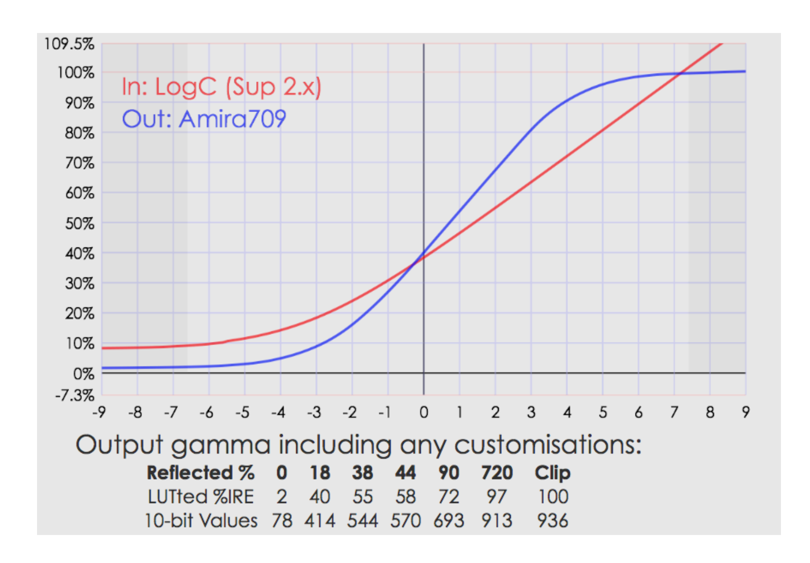


Объективно оценить широту воспроизведения камеры с различными настройками можно с помощью съёмки теста и построения градационной кривой.

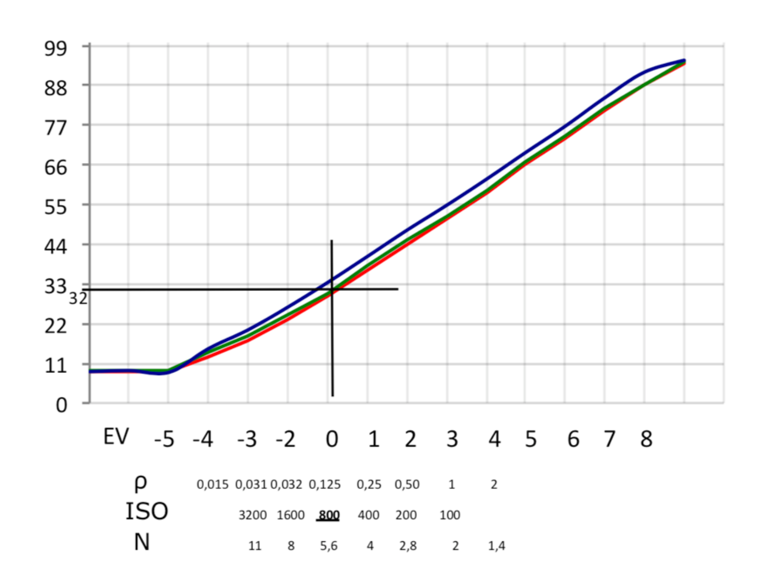
Измерение экспозиции по яркости связанно с определением средней относительной яркости, воспроизводимой в изображении с данным динамическим диапазоном. Так при динамическом диапазоне объекта **5 ΔEV** средняя относительная яркость равна 0,18. Это относится к изображению при печати на бумаге. Серая шкала Kodak имеет коэффициент отражения ρ= 0,18. При работе цветовом пространстве Reg709 коэффициент контрастности, соответствующий среднему градиенту должен быть равен 2. Современные яркомеры настроены на коэффициент отражения 0,125. При определении экспозиции по замеру яркости шкалы Кодак получим значение диафрагмы на половину деления больше, чем по замеру по освещённости, то есть изображение будет несколько темнее. На практике можно учесть эту разницу или создать немного более темное изображение, что позволит лучше проработать детали в светлой части.   При съемке в RAW использование шкалы Kodak предполагает цифровую яркость поля этой шкалы в изображении для Sony: S-Log1 на 38%, S-Log 3 на 41%, для Alexa: C-Log на 32%. Эти значения используются при определении экспозиции по графику формы волны, если она доступна при съёмке.

Стандартные градационные кривые доступны на сайте https://cameramanben.github.io/LUTCalc/LUTCalc/index.html

Сравним градационные кривые сенсора по данным калькулятора и испытанной с помощью теста



Градационная кривая сенсора камеры Алеха в C-log. При светочувствительности ISO 800 яркость в RGB в зелёном канале равна 32



Данные по широте и величине ISO совпадают.

Профессиональные приборы по стандарту ANSI базируются на ρ=0,125. Яркость отдельных деталей определяется коэффициентом отражения ρ. Экспозиция определяется по яркости детали, которая выбирается при замере. Это - ключевая яркость. Ключевая яркость на экране изображается яркостью около 40% RGB. При расчёте экспозиции по яркости лица диафрагму надо открыть на 1деление. Иначе мы получим тёмное лицо с яркостью, как сухой грунт или темная листва. После определения экспозиции, замеры остальных деталей объекта дадут величины, отличающиеся от найденной яркости, которую принято называть «ключевой», на некоторое число делений шкалы прибора. Отличие измеряемой яркости от ключевой оценивают по числу целых и третей деления диафрагмы. Так говорят: «Яркость лица на 1 выше ключевой, а яркость теневой части лица на 1 ниже ключевой». Экспонометр в режиме измерения Δ EV покажет разницу между установленной экспозицией и измеряемой на данном участке. В дальнейшем мы увидим, что относительные яркости объекта или значения Δ EV на графике совместимы со шкалой экспозиций и показывет, как они отображаются на мониторе или на экране.

4. Построение градационных кривых.

График зависимости яркостей в изображении от экспозиции представляется полезным для оценки свойств сенсора камеры - её светочувствительности, широты (динамического диапазона - DR), возможностей коррекции изображения. Для создания графика надо получить изображение серой шкалы и измерить величины цифровых яркостей при разных уровнях экспозиции (**Δ EV)** в единицах RGB. Значения RGB - это фиктивные яркости, они передают на экран кодированные уровни электрического сигнала. При

воспроизведении эти уровни декодируются, их значения не зависят от свойств монитора или проектора. Например, уровни RGB, полученные в формате Reg709, при показе на экран театральным проектором с цветовым пространством DCI P3, дадут цвета преувеличенной насыщенности, поэтому для правильного показа их необходимо математически изменить, конвертировать в нужный формат (Color Mapping).

Для съёмки теста удобно воспользоваться экраном монитора. Съёмка белого поля – например пустого бланка документа Word на экране ноутбука, даёт возможность при разных экспозициях получить ряд яркостей в изображении. Они аналогичны яркостям изображения полей серой шкалы.

Связь светочувствительности, экспозиции и цифрового значения яркости устанавливается с помощью теста камеры.

Экспозиция изменяется последовательно с удвоением на каждом шаге. Надо снять серию кадров с разной экспозицией контрольного поля. Полученные в изображении цифровые яркости надо промерить. Экспозиция при съёмке контрольного поля меняется с помощью ND фильтров, изменением угла условного "обтюратора" (Shutter) и диафрагмы объектива. Использование только диафрагмы недостаточно. Это даст нам только 9 удвоений (22, 16, 11, 8, 5,6, 4, 2,8 2, 1,4). Для определения динамического диапазона надо для современных камер обеспечить не менее 16 удвоений.

Для определения нормальной экспозиции, при заданном значении светочувствительности, надо измерить экспозицию по яркости поля на экране

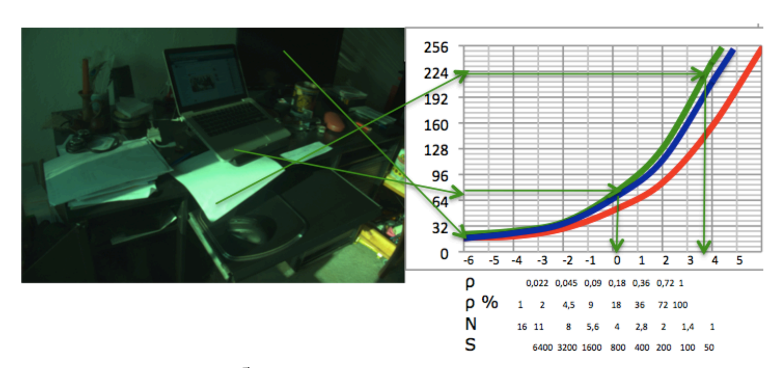
ноутбука. Ряд экспозиций со сдвигом на **Δ EV =1** даст в изображении шкалу яркостей от чёрного до белого. Уровень экспозиции **EV=0** отразится на вертикали графика определённым цифровым значением яркости в RGB, которая соответствует яркости в объекте детали с коэффициентом отражения: $\boldsymbol{\rho}$ = 0,125. Ряд последовательных экспозиций поля монитора дает яркости, которые можно промерить в различных программах. Выбор программы зависит от задачи воспроизведения. Для фотографии подходит Photoshop, Lightroom. Для видео и кино можно использовать DaVinci Resolve или другую программу цветокоррекции. Значения цифровых яркостей могут меняться в разных программах, зависят от настроек, поэтому лучше пользоваться той, которая будет использоваться для работы с изображением. Полученные значения позволяют построить график зависимости цифровых значений яркостей в изображении от относительных яркостей объекта. Эта зависимость в графической форме изображается **градационными кривыми**. В процессе цветокоррекции можно менять форму этих кривых для достижения желаемого цвета и контраста. В результате этих изменений получится **кривая воспроизведения**, которую надо построить в координатах, соответствующих предполагаемому контрасту при показе.

Измерения в этом тесте велись в программе Lightroom, с учётом профиля камеры. Поэтому градационная кривая имеет изогнутую форму, показывает снижение контраста в тенях и в светах.

Для оценки свойств сенсора камеры при съёмке в формате RAW можно оцифрованное изображение воспроизвести без учёта профиля камеры. Для этого

был проведён тест камеры Fuji XE-2 со съёмкой в режиме RAW и обработкой в конверторе RPP. Графики построены с учетом воспроизведения с контрастом 1:256

Построим **градационные кривые.** На графике – значения яркостей, полученных при экспонировании с шагом Δ EV=1 изображения нейтрального поля с цветовой температурой K° 6500. Точка EV=0, соответствует цифровой яркости RGB, с экспозицией, определённой по показанию яркомера. Кривые цифровых значений RGB показывают, как реагируют зональные пикселы сенсора на экспозицию. Цифровые значения яркостей деталей изображения в соответствии с относительными яркостями объекта дают градационные кривые.



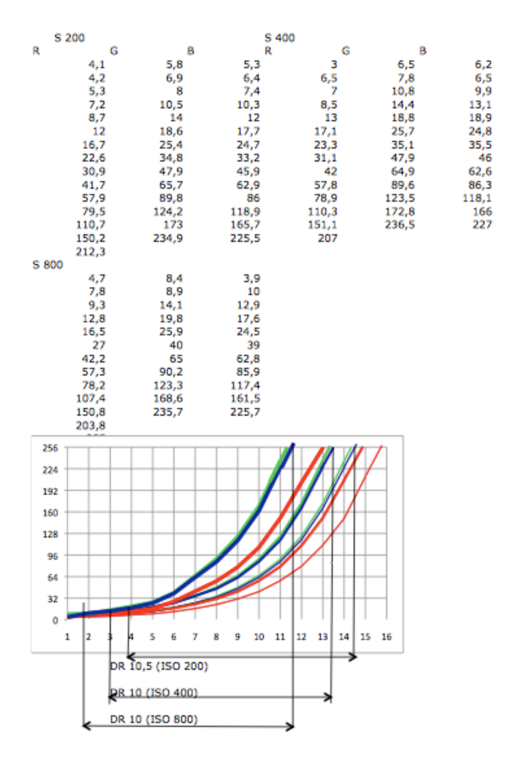
При съёмке объекта экспозиция определена по яркости серого поля в светлой части возле сенсорной панели (Touchpad) ноутбука.

В данном примере при светочувствительности 800 ISO контрольное поле получило в изображении яркость в зеленой зоне 81 RGB при **EV** =0. Положение этой точки на зеленой кривой даёт 4 деления влево (ΔEV = - 4) и 4 деления вправо (Δ EV =4). Одинаковые интервалы от точки EV =0 в стороны света и тени

свидетельствуют о нормальном, среднем положении на оси экспозиций точки соответствующей заданному значению ISO 800.

Съёмка теста производилась в режиме RAW. Изображение обрабатывалось в RAW конверторе RPP. Яркости RGB измерены без учёта профиля камеры. Визуально получилось темное, зеленоватое изображение. Для его коррекции можно применить разные инструменты, в том числе заранее прописанные профили (LUT).

Тест при съёмке с разными значениями светочувствительности в формате RAW показал, что **установка светочувствительности на камере Fuji XE-2 влияет на положение градационных кривых.**

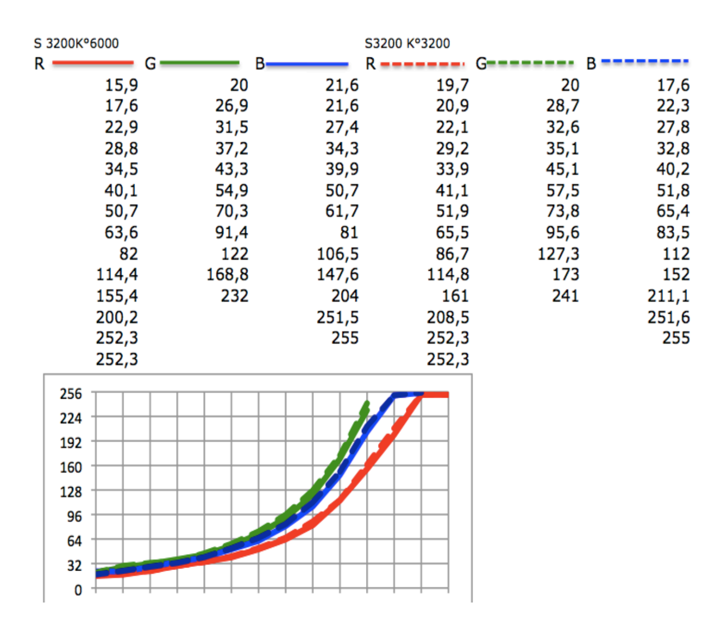


S 200			S 400		
R	G	B	R	G	B
4,1	5,8	5,3	3	6,5	6,2
4,2	6,9	6,4	6,5	7,8	6,5
5,3	8	7,4	7	10,8	9,9
7,2	10,5	10,3	8,5	14,4	13,1
8,7	14	12	13	18,8	18,9
12	18,6	17,7	17,1	25,7	24,8
16,7	25,4	24,7	23,3	35,1	35,5
22,6	34,8	33,2	31,1	47,9	46
30,9	47,9	45,9	42	64,9	62,6
41,7	65,7	62,9	57,8	89,6	86,3
57,9	89,8	86	78,9	123,5	118,1
79,5	124,2	118,9	110,3	172,8	166
110,7	173	165,7	151,1	236,5	227
150,2	234,9	225,5	207		
212,3					

S 800		
4,7	8,4	3,9
7,8	8,9	10
9,3	14,1	12,9
12,8	19,8	17,6
16,5	25,9	24,5
27	40	39
42,2	65	62,8
57,3	90,2	85,9
78,2	123,3	117,4
107,4	168,6	161,5
150,8	235,7	225,7
203,8		

Следующий тест, показал, что, установленные при съёмке камерой Fuji XE-2, **разные значения цветовой температуры не влияют на положение градационных кривых.** Их положение, однако меняется в зависимости от цветовой температуры света, падающего на серое поле.

Вот результат:



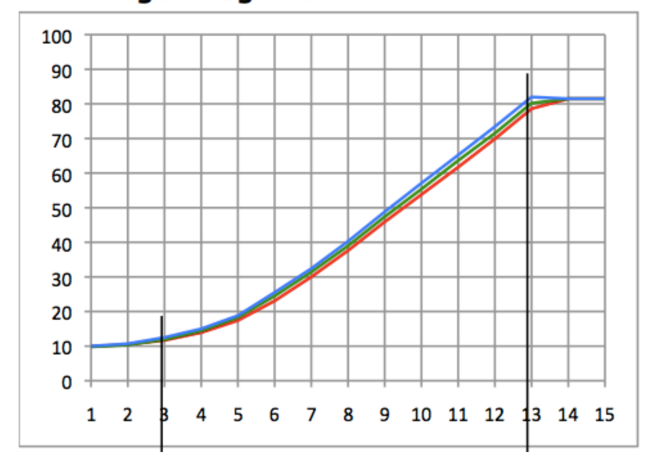
S 3200K°6000 R	G	B	S3200 K°3200 R	G	B
15,9	20	21,6	19,7	20	17,6
17,6	26,9	21,6	20,9	28,7	22,3
22,9	31,5	27,4	22,1	32,6	27,8
28,8	37,2	34,3	29,2	35,1	32,8
34,5	43,3	39,9	33,9	45,1	40,2
40,1	54,9	50,7	41,1	57,5	51,8
50,7	70,3	61,7	51,9	73,8	65,4
63,6	91,4	81	65,5	95,6	83,5
82	122	106,5	86,7	127,3	112
114,4	168,8	147,6	114,8	173	152
155,4	232	204	161	241	211,1
200,2		251,5	208,5		251,6
252,3		255	252,3		255
252,3			252,3		

Положение кривых на графике по горизонтали определяется экспозицией, использованием цветных светофильтров на объективе и цветовой температурой света при съёмке.

Тест камеры **RED Dragon**.

R	G	B
9,9	9,8	10
10,5	10,4	10,7
11,7	11,9	12,5
13,9	14,4	15
17,4	18,3	18,8
23,1	24,5	25,5
30	31,4	32,4
37,6	39	40,3
45,9	47,4	48,8
53,8	55,4	57,1
61,7	63,6	65,2
69,9	71,5	73,4
78,6	80,2	82
81,5	81,5	81,5
81,5	81,5	81,5

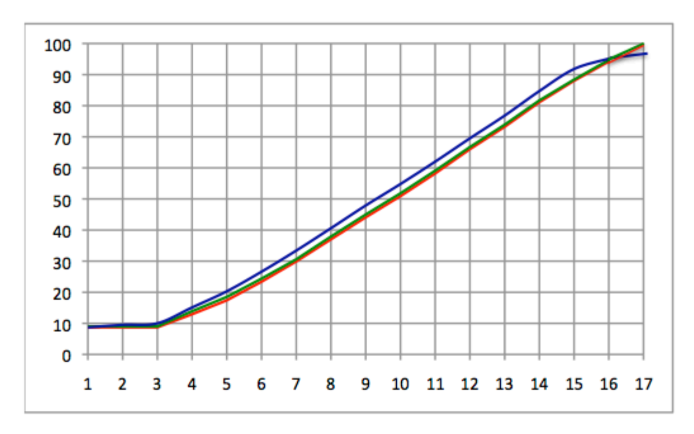
RED Dragon LogCine



Изображение выведено в формате Red LogCine, он дает возможность максимально использовать возможности сенсора по широте. Градационные кривые показывают, что широта оказалась всего 10 стопов, а не 16, как указанно в описании камеры.

Проведём тест камеры Alexa с применением формата записи C-Log.

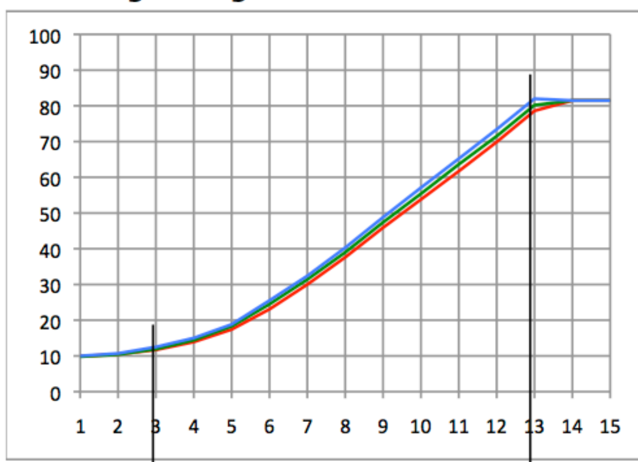
Alexa	ISO 800	
8,7	9	8,7
8,7	9	9
8,7	9	10
12,9	13,9	15,1
17,4	18,5	20,3
23,4	24,4	26,6
29,9	30,6	33,4
37	37,9	40,6
44,1	45	47,9
50,9	51,8	54,8
58,2	59,1	62
66	66,7	69,5
73,2	73,9	76,8
81,1	81,7	84,7
88	88,4	91,8
94,2	94,7	95,1



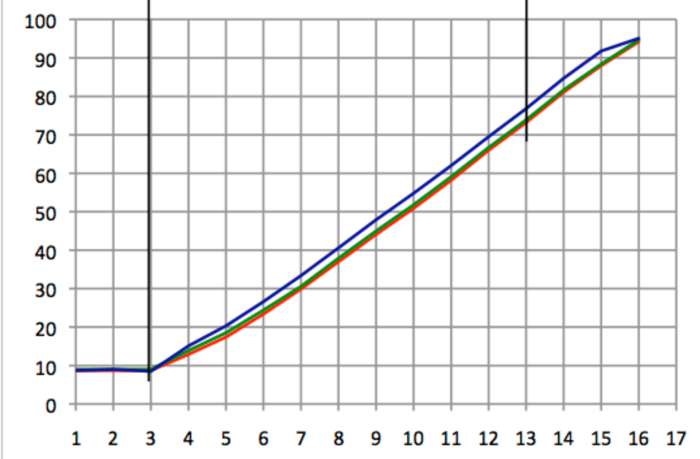
Расширение широты (DR) с учётом снижения контраста в тенях и в светах добавит не более 4 ступеней Δ EV. В итоге получится 10 ступеней.

Сравним градационные кривые камер RED и Alexa.

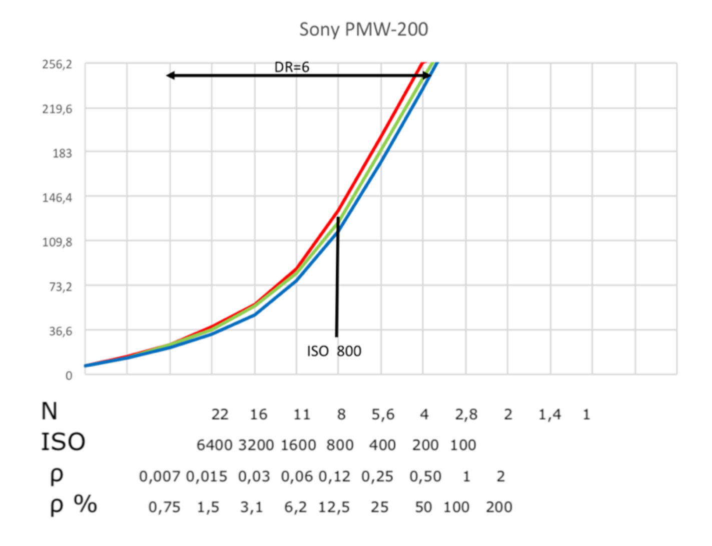
RED Dragon LogCine





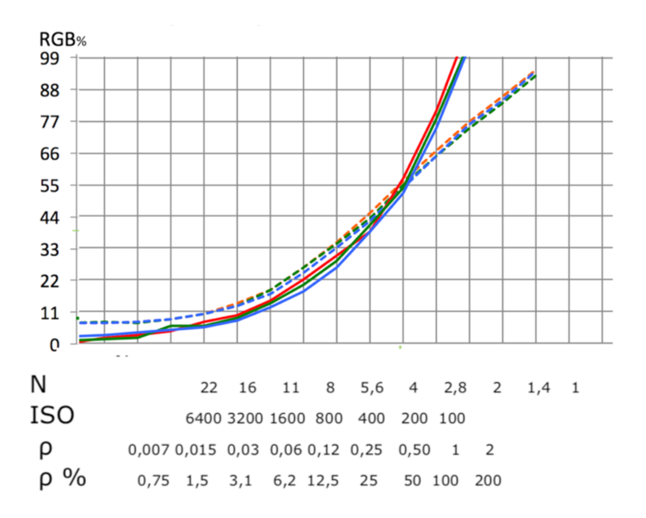


Тест камеры Sony PMW-200



Тест камеры Blackmagic URSA

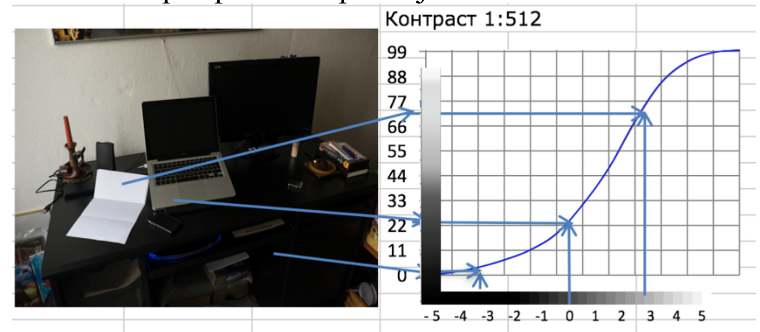
Пунктиром показаны кривые в формате Blackmagic Cine, сплошные линии – Reg709.



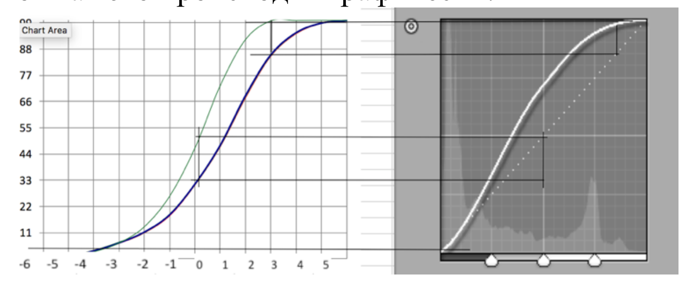
5. Кривая воспроизведения.

Суть коррекции определяется изменением яркостей деталей изображения. Результат цветокоррекции можно графически показать построением **кривой воспроизведения.**

Тест камеры фотокамеры Fuji XE 2

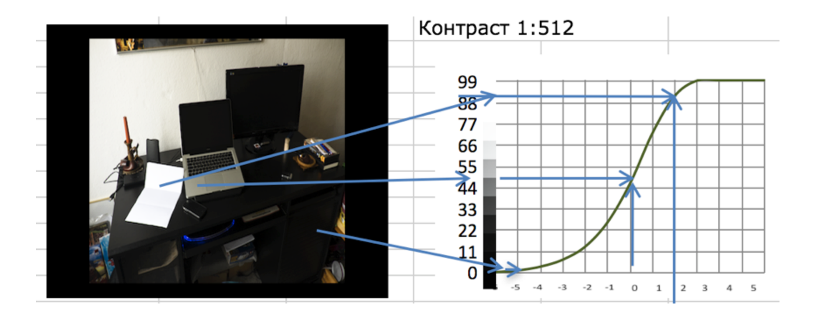


При цветокоррекции можно изменять значения яркостей в изображении, в частности можно поднять яркость серого до 50% шкалы с помощью инструмента «градационная кривая» (Curve). Его действие позволяет изменять форму кривой воспроизведения. Вот как это происходит графически:



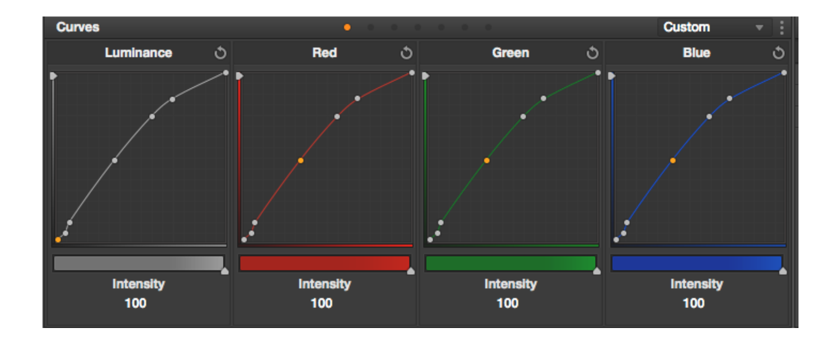
Синяя кривая отражает яркость тонов, полученное в камере в формате RAW и оцифрованное с применением профиля камеры (отсюда кривизна в светах и в тенях). Зелёная – **кривая воспроизведения** тонов после коррекции.

Результат коррекции:



В программе DaVinci Resolve это выглядит так:



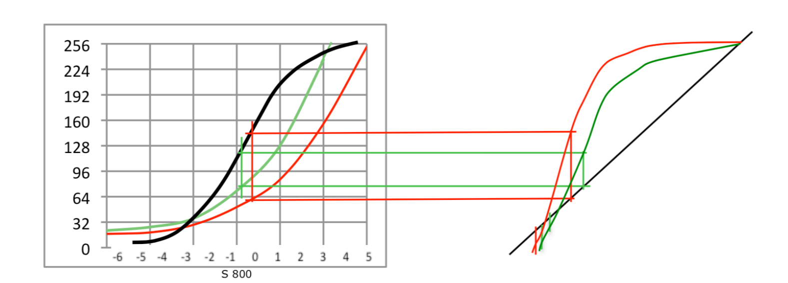


Важно заметить, что **при коррекции цифровые значения яркости можно менять только по вертикали графика, а при съёмке – только по горизонтали.**

В цифровом процессе при цветокоррекции применяются разные инструменты, они позволяют произвольно изменять яркости изображения. Как уже было сказано – уменьшение или увеличение яркостей отражается на графике их движением по вертикали. Этот процесс позволяет объединить яркости разных каналов, воспроизвести монохромное изображение серой шкалы с одинаковым значением цифровых яркостей при каждом значении экспозиции. Это частный случай, когда изображение должно соответствовать оригиналу. При желании исказить цвет зональные кривые воспроизведения не сливаются в одну линию. Мы рассматриваем возможности стандартного «правильного» воспроизведения. Инструменты цветокоррекции изменяют яркости, мы видим результат и контролируем его по приборам и изображению на мониторе. Для получения желаемого результата можно построить кривую воспроизведения любой формы и соответственно внести изменения в форму кривых (Curve). Эти изменения отразятся на изображении. Изменяя форму тональной кривой с помощью инструмента Curve, мы меняем яркости и это отражается на контрольных графиках Гистограмма и Форма волны. Построение кривой воспроизведения наглядно показывает процесс трансформации яркостей в изображении. С её помощью можно оценить возможности цветокоррекции. Они ограничиваются пределами воспроизводимых экспозиций отдельных цветов на матрице камеры. Они определяют **Динамический диапазон (Dynamic Range)- Широту воспроизведения,** При этом для получения значения

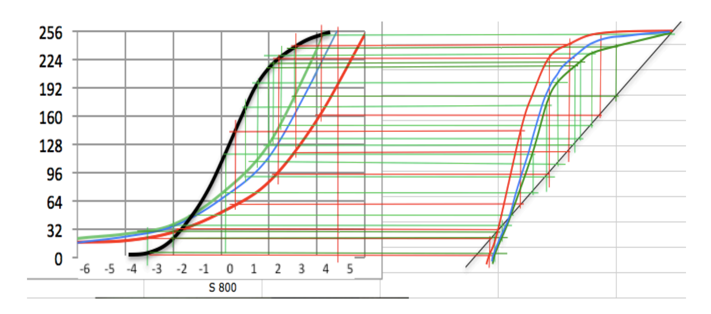
белого RGB 255, 255, 255, одинакового для трёх составляющих цветов, нужно принять во внимание ограничения, вытекающие из возможного использования максимальной широты воспроизведения, которая зависит от взаимного расположения кривых RGB на графике. Принято начало отсчета делать от яркости, которая получается при экспозиции на 1 стоп выше уровня шума. Широта, достижимая без искажений цвета, определяется числом ступеней Δ EV от минимальной яркости канала RGB с минимальной светочувствительностью, до максимальной яркости канала RGB с максимальной чувствительностью. В данном примере положение зелёного канала ограничивает максимум экспозиции, при которой возможно сведение яркостей в светлой части до значений белого - RGB 255 255 255 для всех трех слоёв. Ограничив широту в соответствии с возможностью этого канала, мы можем «поднять» яркости остальных до максимального уровня.

На следующем графике показано, как изменяются яркости исходного изображения для получения желаемого цвета и контраста. Справа показаны изменения формы кривых с помощью инструмента Кривые (Curve). Черная кривая – результат цветокоррекции – **кривая воспроизведения**.



Здесь показано, как инструмент Curve меняет форму красной и зелёной тональных кривых при цветокоррекции. Для создания нейтрального тона в изображении надо объединить тоновые кривые в одну линию. На графике она чёрного цвета. Инструмент Curve позволяет изменять яркости тоновых кривых искривлением своей формы. Начальное положение – это прямая под углом 45 градусов. Подъём кривой в любой точке поднимает цифровую яркость в изображении.

На этом графике показано, как изменяется форма тоновых кривых для получения нейтрального тона в изображении при экспонировании серой шкалы.

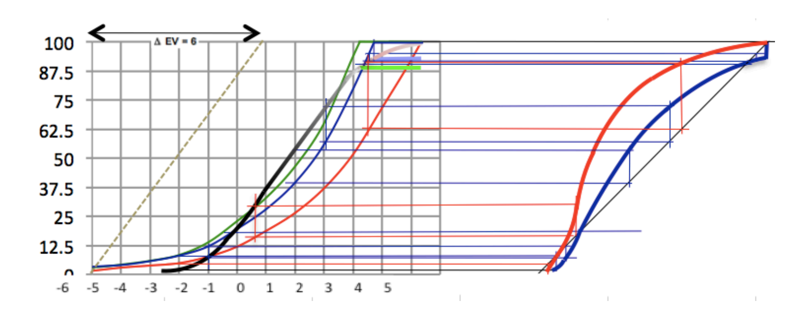


Сравним исходное и исправленное изображения:

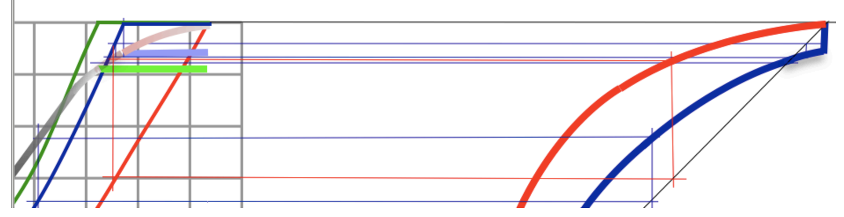


Следующий тест показывает ограничение, которое может возникнуть при цветоррекции передержанного изображения.

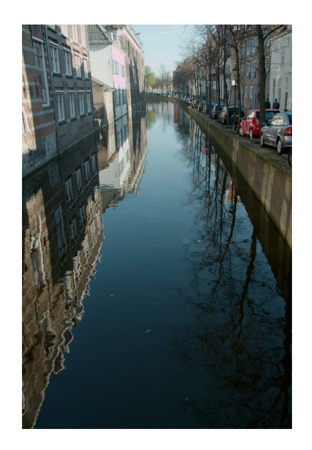
Задана кривая воспроизведения с использованием максимума яркости красного канала (он сдвинут вправо на графике). Это происходит при коррекции передержки. Далее поострены корректирующие кривые, которые можно использовать при цветокоррекции с инструментом Curve. Они показывает необходимые изменения яркостей для приведения их к желаемой форме кривой воспроизведения. Здесь при передержке на 1,5 EV в высоких яркостях красный канал с ростом экспозиции достигает максимума 255 позже, чем зеленый и синий. При цветокоррекции чрезмерно светлого, передержанного изображения снижение общей яркости приводит к недостатку зелёного и синего в зоне высоких яркостей.

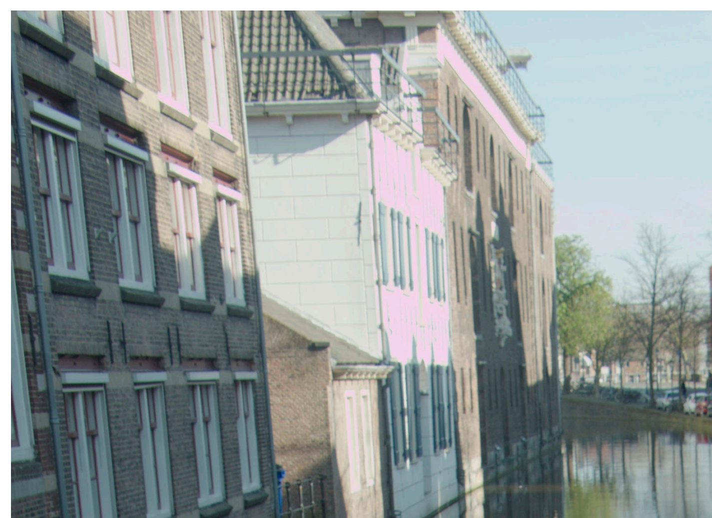


Увеличим верхнюю часть графика

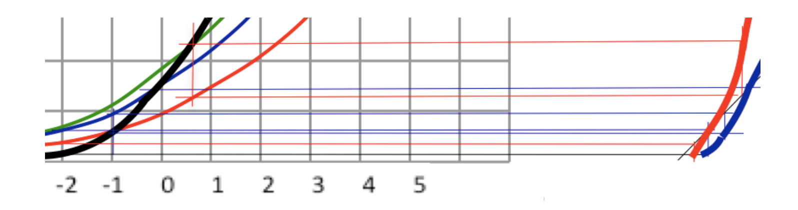


Может появиться розовый оттенок в ярких светах.



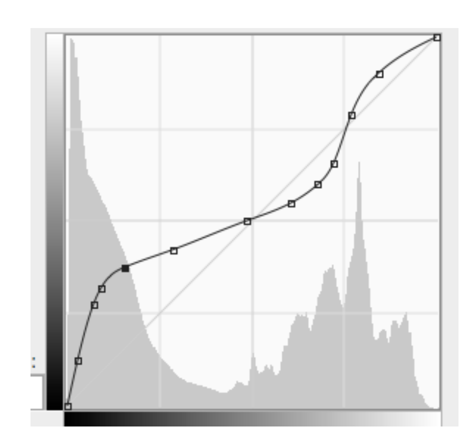


Чувствительность красного канала при цветовой температуре K° 6000 примерно в два раза меньше, чем синего и зелёного. В данном примере недостаток яркости красного канала в тенях не играет роли, так как яркости зелёного и синего каналов можно снизить до нулевого уровня на кривые воспроизведения.

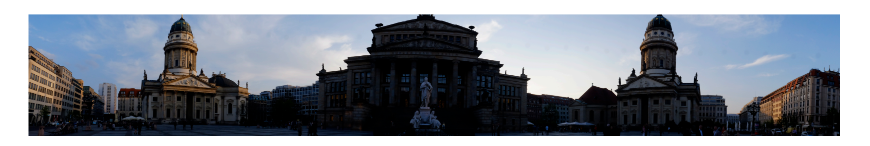


Для создания изображений с расширенным динамическим диапазоном (HDR) теоретически можно использовать оставшиеся 6 ступеней. В этом случае можно разделить изображение на две части с нормальным контрастом, соединив их зоной пониженного контраста. Задача не простая, так как здесь появляются детали изображения с пониженным контрастом, неестественные, и в целом это ведёт к впечатлению искажения, фальши.

Темная линия отражает применение инструмента Curve при цветокоррекции для раздельного управления контрастом в тенях и светах.



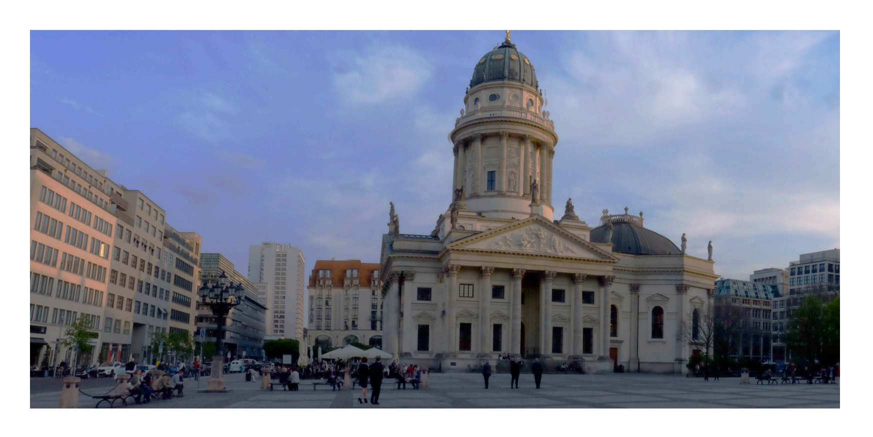
Оригинальное фото:



Результат коррекции:



Увеличим левую часть:

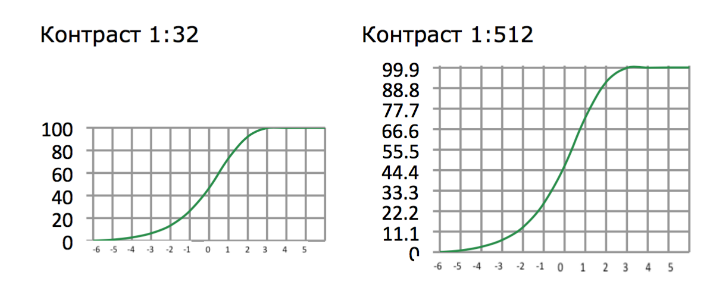


На фото заметно искажение контраста в изображении деталей средней яркости. Заниженный контраст создаёт неестественное впечатление.

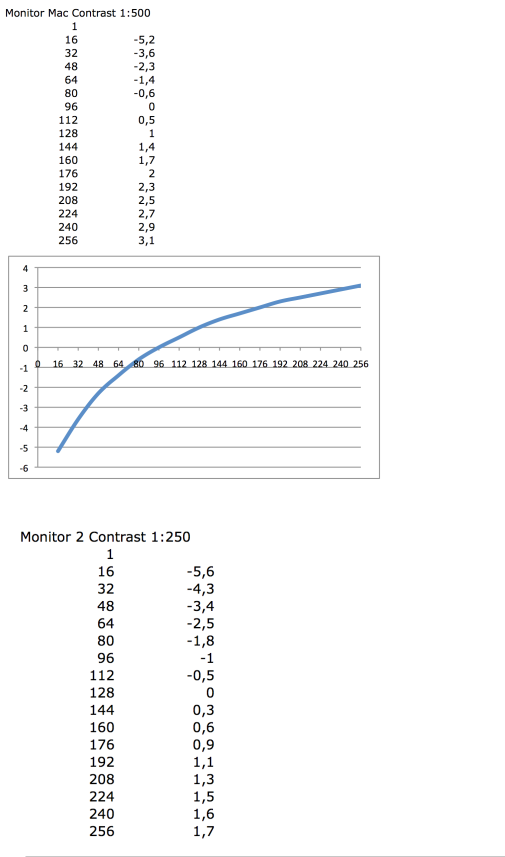
6. Контраст.

Контраст монитора отражается на графике количеством удвоений яркости по вертикали. На графике тонального воспроизведения удвоение

яркости в зависимости от контраста, приводит к увеличению яркости в процентах RGB на разную величину: при контрасте 1:256 - 12,5% (8 удвоений) При контрасте 1:512 – 11,1 (9 удвоений) Кривая, построенная по точкам замера яркостей серой шкалы в RGB, меняет наклон в зависимости от контраста воспроизведения. Контраст 1:256 соответствует нормальному монитору, контраст 1:512 – профессиональному монитору с повышенным контрастом и для кинопроекторов. Данные о контрасте мониторов 1:1000 и более связанны с понятием динамического контраста, при котором яркость подсветки уменьшается с уменьшением средней яркости изображения. Контраст монитора отражается на графике количеством удвоений яркости по вертикали.



Контраст монитора можно определить, измерив в Photoshop последовательные яркости полей от RGB 16.16.16 до RGB 255.255.255. В приводимом тесте измерения проводились спотметром Sekonic в режиме **Δ EV.** Получены данные для 2 х мониторов: для ApplePro отношение минимальной и максимальной яркости 1: 512, т.е. 9 удвоений яркости, для AOC 1:256 т.е. 8 удвоений.

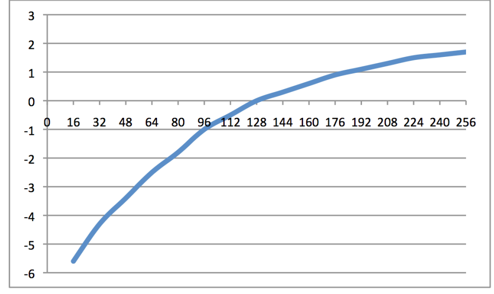


Monitor Mac Contrast 1:500

1	
16	-5,2
32	-3,6
48	-2,3
64	-1,4
80	-0,6
96	0
112	0,5
128	1
144	1,4
160	1,7
176	2
192	2,3
208	2,5
224	2,7
240	2,9
256	3,1

Monitor 2 Contrast 1:250

1	
16	-5,6
32	-4,3
48	-3,4
64	-2,5
80	-1,8
96	-1
112	-0,5
128	0
144	0,3
160	0,6
176	0,9
192	1,1
208	1,3
224	1,5
240	1,6
256	1,7



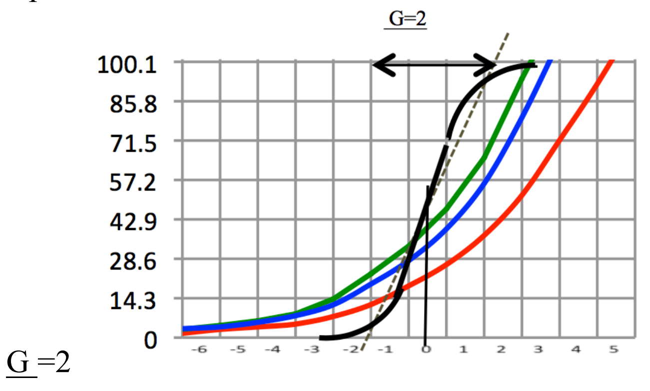
Театральные проекторы могут обеспечивать контраст 1:1000 - 10 удвоений.

Говоря о контрасте, надо помнить, что на конкретное изображение нет стандарта, это полностью зависит от характера объекта и авторской позиции. При просмотре изображения в разных условиях (монитор, экран) впечатление о контрасте будет меняться. В технологии плёночного кино контраст определялся понятием **среднего градиента**.

Определим максимальный контраст изображения, как отношение числа удвоений яркости (зависит от контраста системы) к широте воспроизведения тонов в ступенях **EV** (каналы экспозиции). Число ступеней Δ EV получим, оценив наклон расчетной кривой воспроизведения, которая соответствует изменениям в процессе цветокоррекции.

Надо построить диагональ между точками на кривые воспроизведения от белого с фактурой до чёрного с фактурой. Они располагаются в светлой и тёмной частях. Расстояние по горизонтали между верхним и нижним пересечением с осями 100% и 0% дает число Δ EV. Поделив число удвоений на шкале яркостей на Δ EV получим средний градиент **G.** Можно считать, что нормальный контраст (средний градиент) должен быть **G**=2. В исследованиях по восприятию изображения при проекции было принято комфортным для публики значение контраста со средним градиентом 2. Это расчетное значение для нормального, стандартного изображения.

Пример цетокоррекции с контрастом монитора 1:128.



В реальности контраст разных частей кадра может быть произвольным, зависит от задачи и фантазии. Эта возможность пришла вместе с «цифрой». Контраст можно менять локально. Однако изменение контраста в одной части влечёт за собой изменение в соседней. Максимально используя возможную широту воспроизведения мы вынуждены следить за тем, чтобы контраст промежуточных зон не был слишком высоким или низким. Современные камеры способны записывать изображение с широтой (динамическим диапазоном) 14 Δ EV и выше. Реальное изображение на экране с контрастом 1:512 занимает только часть этой широты - 7 Δ EV. Этого достаточно для изображения объекта с диапазоном яркостей от самого тёмного с коэффициентом отражения ρ=0,01 (1% Сажа) до белого с коэффициентом отражения ρ =0,7. В процессе цветокоррекции некоторые детали изображения утрачиваются, в зависимости от выбора части из полного диапазона воспроизводимых яркостей. При внимании к теням пропадут самые светлые детали и наоборот. Расширение воспроизводимого на экране диапазона возможно при локальном снижении контраста в тенях и светах или

при значительном увеличении яркости и контраста кинопроекции.

Возможность локального изменения яркостей и контраста - важное преимущество цифрового процесса. Раньше, при работе с пленкой, для зонального изменения контраста слоев в тенях использовали светофильтры, снижающие контраст или дозированную засветку, с её помощью можно было уменьшить контраст в тенях отдельных слоев. Локально увеличить контраст было невозможно.

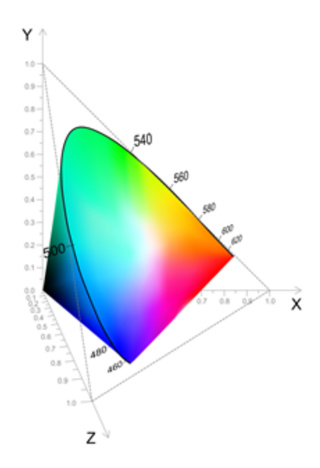
7. RGB

-цветовая модель, (Color model). применяется для отображения яркостей изображений на мониторе или при проекции на экран. Все возможные значения цветов, задаваемые моделью, определяют цветовое пространство.

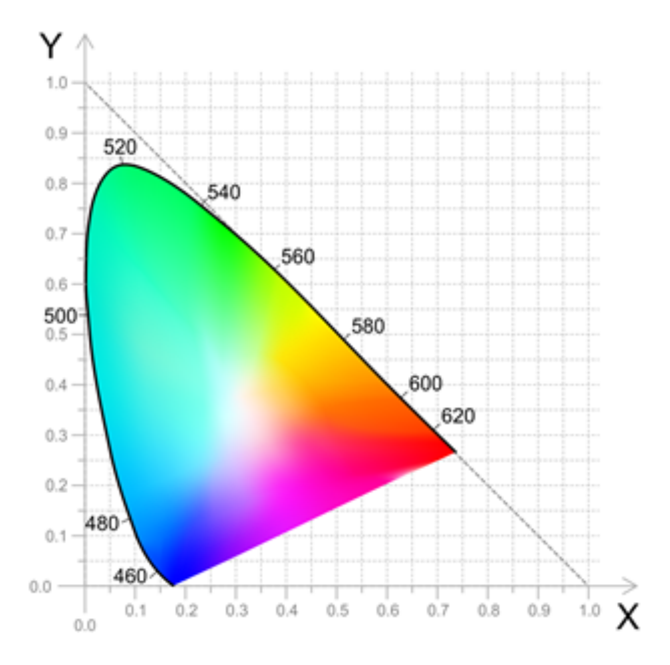
Рабочее пространство, Цветовое пространство, Цветовой профиль, – это стандартная область возможных цветов. Вместе с файлом кодированных яркостей устройство получает профайл с указанием цветового профиля, в котором он создан. Цветовой профиль записывается в профайле.

Цветовой охват, Гамут – определяет цвета, возможные для воспроизведения на данном устройстве.

В 1931 году экспериментально определили значения цвета, доступные зрению человека и построили объёмный график распределения цветов.



Плоскость этого конуса показывает цвета максимальной яркости. Обычно её изображают в координатах x, y.



На этой плоскости цвета представлены только с учетом доминирующего оттенка. Их яркости уменьшаются к точке X, Y, Z=0 вглубь графика,

которая здесь не показана, это вершина конуса. Там находится точка чёрного. Насыщенность уменьшается для каждого цвета по направлению от периметра к центру, где находится точка белого, от этой точки вглубь конуса идёт ось нейтральных цветов. Цифровые значения яркостей на этой оси, как и в остальном объёме конуса зависят от формата записи. Одинаковые визуальные яркости в разных цветовых пространствах выражаются разными числами. Разные цветовые пространства представляются конусами внутри максимального доступного зрению пространства XYZ.

Цветовой охват мониторов разной конструкции.

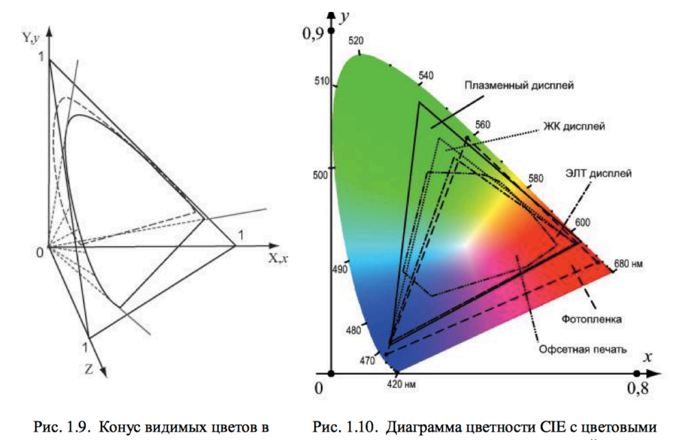


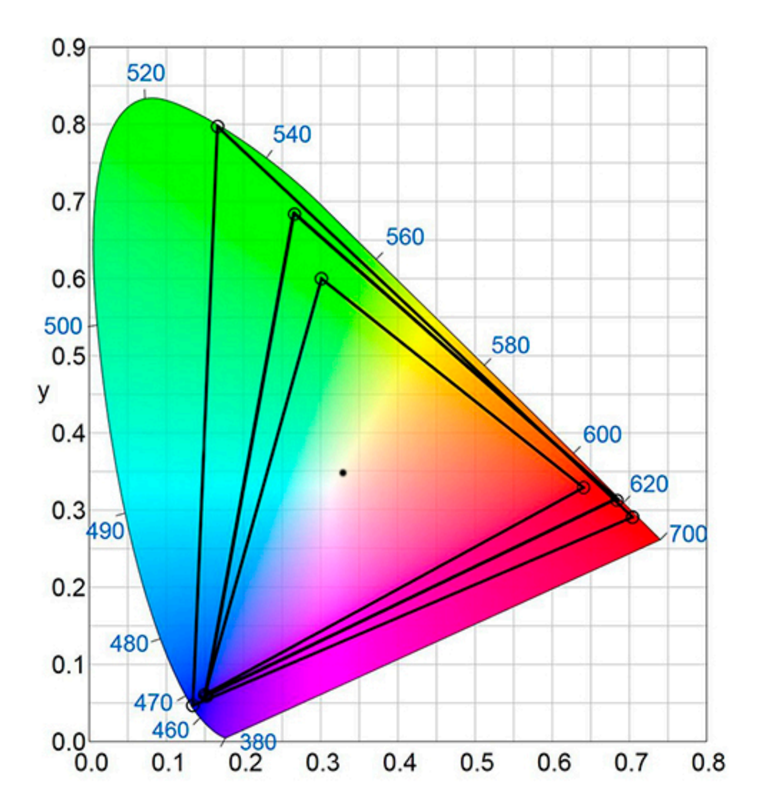
Рис. 1.9. Конус видимых цветов в трехмерном пространстве модели CIE XYZ

Рис. 1.10. Диаграмма цветности CIE с цветовыми гаммами для разных классов устройств

Численные значения цвета RGB могут импортироваться в программу цветокоррекции или на экран с сохранением исходного профиля или с преобразованием в выбранное рабочее пространство. Так, без преобразования, цвета из пространства sRGB, в соответствии со своими значениями, займут положения в пространстве DCI P3 дальше от центра, точки белого, то есть станут более насыщенными.

Импорт с преобразованием (Colormapping) в DCI P3 сохранит положение координат цвета в конусе XYZ. При работе с цветом в расширенном цветовом пространстве и последующим воспроизведением в суженном, без преобразования, цвета займут новые положения, отразятся на экране с визуальным отличием от оригинала. Их насыщенность уменьшится.

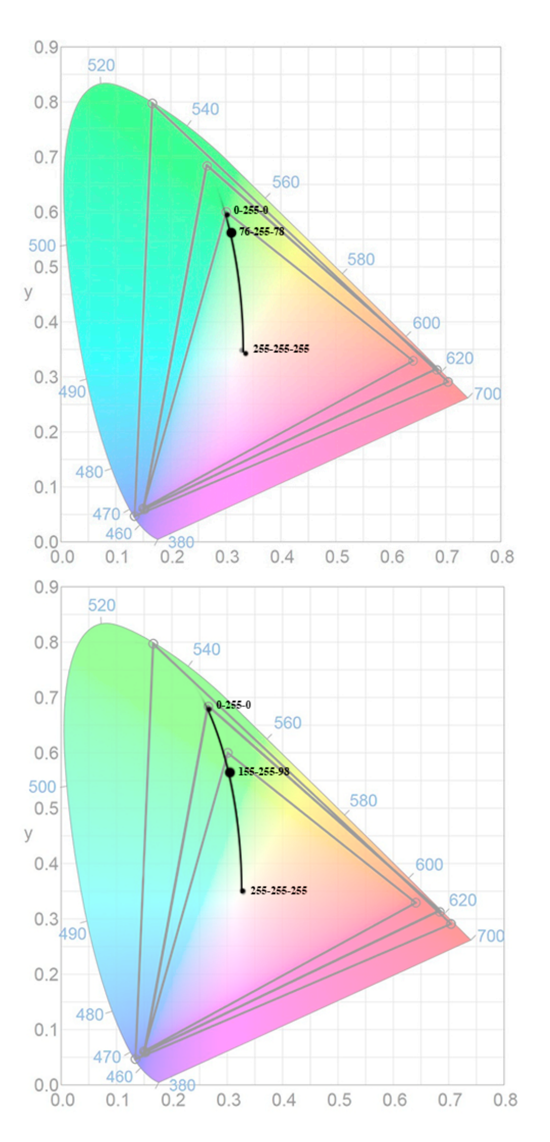
Графическое представление различных цветовых пространств - Rec.709, DCI-P3, Rec.2020



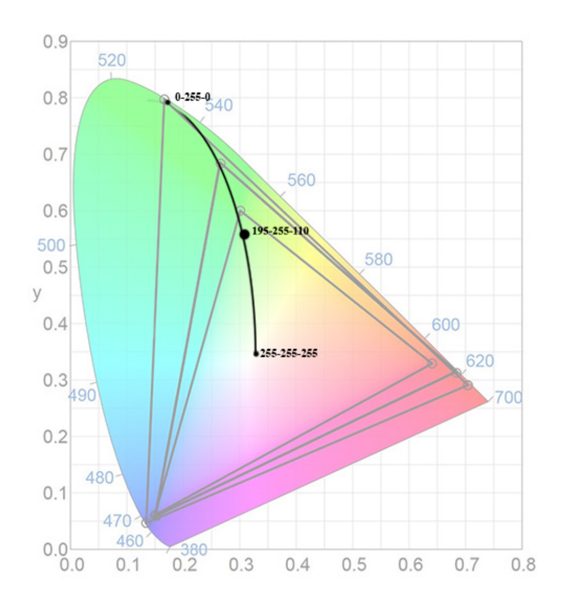
Цвета, положение которых определяется границами малого треугольника (sRGB) после преобразования в пространство DCI P3 (средний треугольник) или в

Reg2020 (большой треугольник) сохраняют визуальный характер, но их численные значения в RGB меняются.

Например, зеленый цвет RGB: 76-255-78 - станет в DCI P3: 155-255-98



а в Reg2020 получит значения: 195-255-110



При записи во всех форматах происходит математическое преобразование. Уровни электрического сигнала записываются в цифрах. Их значения зависят от цветового пространства, в котором они сохраняются.

В телевидении принято оценивать яркость свечения люминофоров уровнем видеосигнала - обычно в процентах независимо от битности системы, или уровнем видеосигнала в милливолтах от 0 до 714 мВ. Электрическое напряжение при этом выражено в единицах Ire (Institute of Radio Engineers). 1 IRE=7,14 mV. Уровень 100 IRE равен значению в RGB 235. 110 IRE= 255 RGB.

Уровни яркостей пикселов зависят от напряжения. При записи их значения преобразуются согласно заданному профилю. Видеокамеры записывают сигнал по стандарту Rec709. Применяется

гаммакодирование с гаммой 2,4. Максимальный уровень белого 90% (RGB 235-235-235). Уровень чёрного ограничен значением RGB (16-16-16).

Шкалу яркостей от чёрного до белого в цифровом процессе делят на ступени, которые записываются и впоследствии воспроизводятся на экране. Можно сказать, что это номера яркостей. Монохромный цвет (белый, серый, чёрный) в координатах RGB состоит из равных количеств красного, зелёного и синего. Число ступеней называют битностью или глубиной цвета , (Color depth). 1 bit – 2 ступени, 2 bit – 4 ступени, и так далее по формуле: 1bit=2^1, 2bit=2^2, 4bit=2^4, 8bit=2^8. Показатель степени показывает число bit. Яркости восьмибитного изображения на числовой оси расположаться в виде 256 интервалов, минимальное значение = 0, максимальное = 255. Сочетания трёх составляющих RGB дают 16 777 216 оттенков цвета (8 bit). При увеличении числа ступеней, будет больше оттенков. При 16 bit, получаем 281 474 976 710 656 оттенков. Для плавного показа переходов яркости достаточно 16 миллионов (8 bit). На числовой оси RGB при глубине цвета 8 bit удвоение яркости происходит через каждые 32 деления. На 256 ступеней шкалы приходится 8 удвоений. Значения яркостей записываются в единицах RGB или в процентах. Максимум – 100%, минимум - 0%.

В 8 битном изображении, воспроизведённым с высоким контрастом, могут появиться полосы, это явление называется постеризацией (**Banding**).

8 бит контраст 1:256

8 бит контраст 1:2048 - постеризация

Важно понять, что цифровые величины яркости соответствуют значениям цвета в RGB и не зависят от глубины цвета (битности). Так при глубине цвета 8 бит - 100% равно 255, а при 10 бит – 1023. 100% обозначает максимум яркости, 0% - минимум, отсутствие яркости, черноту. Делить шкалу можно произвольно, значения яркости цвета в единицах RGB меняются при изменении битности, а яркость при этом не меняется, поэтому яркость удобно обозначать в процентах. 50% - не половина максимальной величины яркости, а половина шкалы. При 8 битах 50%= (128-128-128) RGB. Эта яркость в 16 раз меньше белого с RGB= (255-255-255). При 10 битах 50% = (512-512-512) RGB. Яркости (128-128-128) RGB при глубине цвета 8 бит и (512-512-512) RGB при 10 бит - одинаковые яркости. Здесь возникает повод для ошибки. **Контраст воспроизведения не зависит от глубины цвета - битности.** Так 8 битное изображение (256 ступеней) на мониторе с контрастом 1:256 или на экране с контрастом 1:512 выглядит по-разному. В обоих случаях максимальная яркость равна 100%, что равно при глубине цвета 8 bit значению в RGB (255-255-255), а при глубине цвета 10 bit значению в RGB (1023-1023-1023).

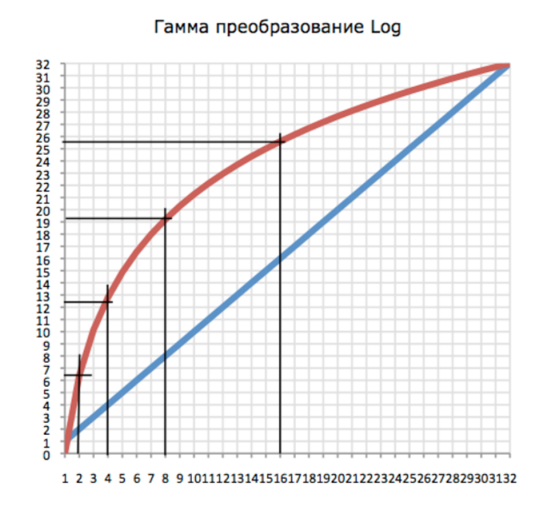
8. Цифровая запись изображения.

Яркости деталей объекта образуют на светочувствительном приёмнике камеры изображение, которое создаёт электрический потенциал на каждом пикселе матрицы в пределах диапазона от уровня шума (минимальное значение потенциала) до максимального (уровня насыщения). Диапазон яркостей делится на ступени, согласно битности камеры. При 8 бит мы имеем 256 ступеней. При 10 бит-1024 ступени. Мы видим изображение без ступенчатых переходов при достаточно мелком делении. При записи с учётом профиля камеры уровни сигнала преобразуются. Это действие аналогично цветокоррекции. Графически оно определяется изменением высоты точек тональной кривой. Пикселы матрицы подобны фотоэлементам, они накапливают заряд пропорционально колличеству фотонов света. Процесс линейный. Мы воспринимаем разницу яркостей нелинейно - одинаковые ступени яркости отмечаем по мере удвоения их величины. В соответствии с особенностью восприятия и форматом записи изображения уровни яркости кодируются с учётом **гамма преобразования** (Gamma encoding). Это происходит в аналого - цифровом преобразователе камеры или в RAW конверторе программы воспроизведения. Так электрические сигналы создают уровни яркости, определяющие характер изображения. Конструкция монитора требует обратного преобразования **гамма коррекции** (Gamma correction) - которое влияет на видимый характер изображения.

Гамма корркция не влияет на величину значений яркостей. Но влияет на то, как выглядит изображение на мониторе.

Объясняя принцип гамма преобразования и гамма коррекции, обычно приводят графики, построенные в линейных координатах. Увеличение освещённости пиксела матрицы на одну единицу даёт пропорциональное увеличение электрического сигнала. Мы воспринимаем увеличение яркостей по мере их удвоения.

Покажем оба графика. Глубину цвета определим в 5 бит (32 удвоения).

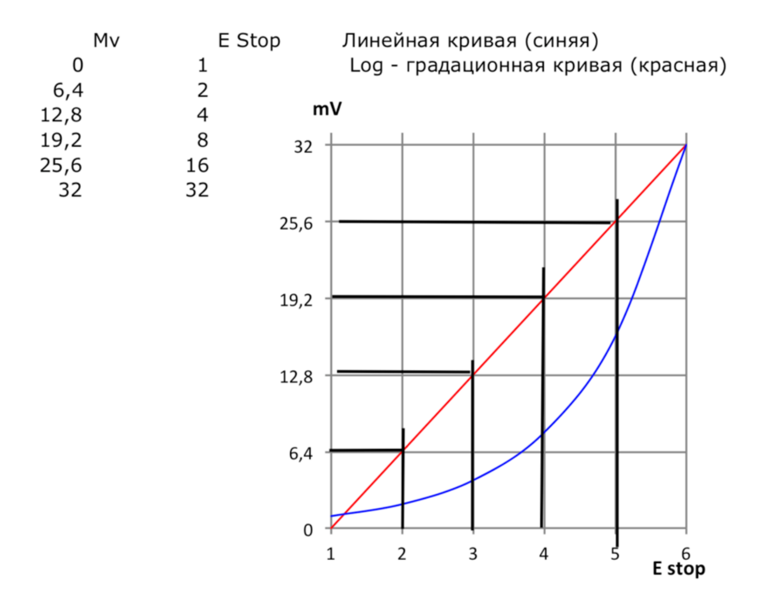


На графике показано, как гамма преобразование позволяет каждый стоп яркости в обьекте записать с одинаковым числом данных. В данном примере на каждый стоп расходуется 6 единиц (красная кривая). Линейная зависимость уровня электрического сигнала пикселов матрицы от величины яркости в обьекте показана синей линией. Для записи уровней линейного сигнала каждый стоп пришлось бы

записать разным числом единиц яркости изображения. В данном примере без гамма преобразования на запись последнего стопа пришлось бы около половины значений шкалы яркостей.

Для построения графика тональных кривых, в соответствии с психологией восприятия, надо по горизонтали расположить последовательность шагов экспозиции. При этом прямая линия пропорционального, линейного прироста реакции пикселов на свет «сожмется», превратится в кривую. Такие координаты приняты в цветовой модели RGB.

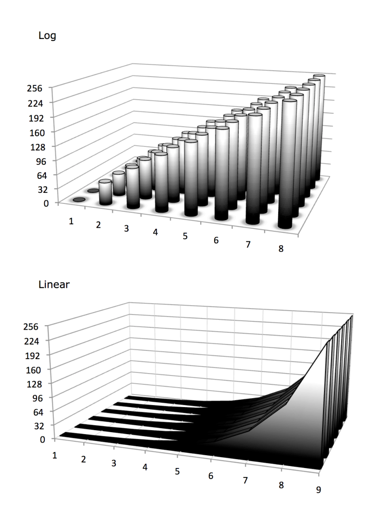
График применения гамма коррекции с использованием Log функции по оси экспозиций.



В формате RAW значения потенциала записываются без сжатия - на нашем графике синяя кривая. Результат гамма преобразования градационной

кривой с применением логарифмической функции выглядит как прямая красного цвета. Это преобразование присходит в RAW конверторе или в аналого - цифровом преобразователе камеры АЦП (ADC- *Analog-to-Digital Converter*). Можно считать, что в первом случае происходит предварительная цветокоррекция с использованием математического преобразования значений потенциалов пикселов сенсора с учётом установок, назначенных при съёмке и записанных в профайле. Так определяется формат записи. Различные изменения яркостей исходного изображения могут быть записаны в специальнных файлах. Они называются **LUT** (Look up table). Профили LUT позволяют настроить изображение согласно поставленной задаче.

Эти графики показывают, как меняются величины потенциала при преобразовании из линейного в логарифмическое.

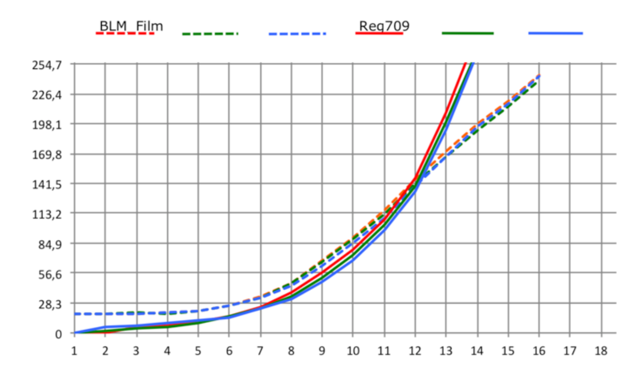


Формат записи оцифрованного изображения содержит сумму данных, которые могут быть доставлены к цветокоррекции. При съёмке в формате

RAW записывается весь поток данных без предварительной обработки и сжатия.

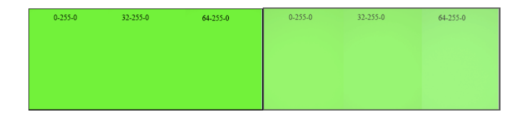
Камера Alexa может записывать формате Arri Raw полноценные кадры изображения, анологичные цифровым фотоизображениям. Они могут воспроизводится и обрабатываться в RAW конверторе программы цветокоррекции (например DaVinci Resolve) или в фоторавконверторе (например RPP), что позволяет построить график тональных кривых для каждого канала и оценить полностью возможности воспроизведения. При записи в формате Rec 709 (Rec. ITU-R BT.1886), часть информации “обрезается’’, это позволяет уменьшить поток данных. Этот формат создаёт файлы изображения, характер которых зависит от предварительной установки. Запись изображения при этом ведется с учетом установленного профиля.

Камеры BlackMagic предлагают запись в форматах RAW или ProRes, при записи в ProRes можно выбрать динамичский диапазон Film или Video. Режим Film даёт максимальный динамический диапазон (12 ступеней), Reg709, в соответствии со сттандатом вещания даёт 6 ступеней.



При работе с файлами камеры RED наиболее полное воспроизведение динамического диапазона сенсора даёт формат RED Log.

Монитор бытового компьютера показывает цвета в пространстве sRGB. Профессиональный монитор с расширенным цветовым профилем обеспечивает цветовой охват Adobe RGB. Одинаковые цветовые координаты в разных пространствах дают цвета разной насыщенности. Если монитор не обеспечивает цветовой охват, необходимый для заданного профиля, он показывет цвета, выходящие за пределы охвата, предельно насыщенными в меру своей возможности. Так, если создать шкалу зелёных тонов: 0-255-0, 32-255-32, 64-255-64 в пространстве Adobe RGB и sRGB, то поля, созданные в Adobe RGB на экране бытового монитора (sRGB) сливаются, а созданные в пространстве sRGB различимы.



Стандарт кинопроекции - DCI-P3 – предполагает расширенный цветовой охват, похожий на Wide Gamut и на Addobe RGB, он доступен на мониторах, предназначенных для цветокоррекции в цифровом кинопроцессе. Стандарт телевидения высокого разрешения Rec 709 (новый стандарт Rec. ITU-R BT.1886) и sRGB имеют одинаковый цветовой охват (Color gamut). **Цвет, записанный в определённом цветовом пространстве получает конкретные значения RGB. Эти значения дадут в другом пространстве цвет иной насыщенности.** Поэтому при цветокоррекции в пространстве sRGB цвета, показанные на мониторе с расширенным цветовым охватом или на экране при кинопроекции по стандарту DCI-P3, будут иметь преувеличенную насыщенность.

Цветокоррекция в расширенном цветовом пространстве, например, в DCI-P3, создаст цвета, которые без преобразования (Color mapping), при показе в пространстве Rec709 или sRGB будут выглядеть менее яркими и менее насыщенными.

Слева файл после коррекции в пространстве sRGB, справа тот же файл в пространстве DCI-P3 на мониторе sRGB




Импорт изображения из пространства DCI-P3 в пространство Rec709 (Color mapping) приведёт цвет в соответствие с видимым в пространстве DCI-P3

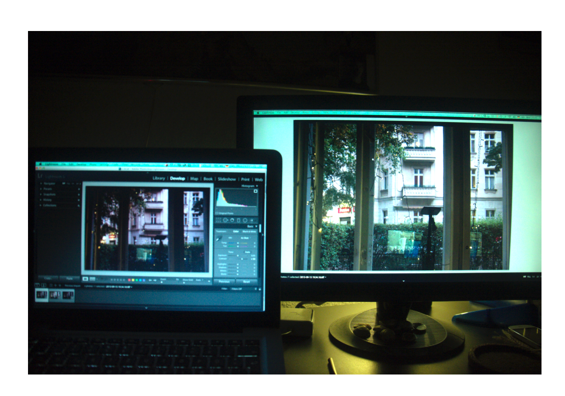


При цветокоррекции идёт работа с численными значениями цвета. Видимый результат зависит от настроек монитора и его цветового охвата.

10. Цветокоррекция.

Подготовка изображения к показу – сложный процесс. Монитор или проектор обычно откалиброван и даёт

верное представление о результате. Обычно, однако не всегда. Настройки монитора для нас не всегда доступны. Наше зрение привыкает к яркости и контрасту изображения. Изображение на двух мониторах может выглядеть по-разному.



На левом мониторе контраст выше, яркость ниже, заметен недостаток зелёного. Но если наблюдать отдельно изображение на каждом мониторе, глаза привыкают, адаптируются, принимают пурпур левого экрана за серое. Надо иметь в помещении опорное «белое» освещение, чтобы не делать ошибок. Но тогда мы станем исправлять пурпурный оттенок. Загоним в зелень. Для правильного восприятия надо работать на откалиброванном мониторе. Эту работу самостоятельно выполнить в чужой студии невозможно. Это главная проблема. Можно выдать на экран стандартную серую шкалу и при нормальном освещении студии оценить качество серого. Но это тоже не вполне эффективно. Зрение адаптируется - и реагирует только на значительные искажения нормы. **Полезно найти в изображении участок, который можно принять за - «серое» и посмотреть на величину его яркости в RGB.** Если величины зональных яркостей близки по величине, можно работать, рассчитывая на адаптацию к этой цветности.

Надо запомнить в системе кадр изображения, который можно считать ключевым, и, возвращаясь к нему, корректировать своё восприятие цветности. В целом, работа в цветокоррекции ведётся под контролем специалистов, имеет много аспектов и возможностей. Доверие к колористу важнейшее обстоятельство. Имеет значение реальный цветовой охват монитора, который уменьшается по мере старения. Калибровка монитора приводит относительные яркости цветов в соответствие стандарту цветового охвата, в котором ведётся калибровка. Далее монитор при переключении на другое пространство покажет неверный результат, так как будут применены стандартные коэффициенты к преобразованию основных цветов, а старение пикселов ведёт к уменьшению цветового охвата. Ввиду различного визуального характера изображения в разных цветовых пространствах, корректировать необходимо в соответствии с перспективой показа. Так для телевидения в высоком разрешении (HDTV) Уровень белого не должен превышать 90% (RGB при 8 бит 235, 235,235), уровень чёрного – 10% (16,16,16). Импорт из одного пространство в другое не всегда даёт положительный результат. RGB 235,235,235 (в Rec709 – норма белого) - даст в DCI P3 заниженные значения белого. Мы не получим белого полной яркости. А без пересчёта получится изображение завышенной цветовой насыщенности.

В заключение хочу напомнить о том, что считаю важным. Гистограмма может быть показана в разном масштабе - высота пиков связанна с количеством пиксел данной яркости. Цифровой процесс состоит из записи и отображения. На этапе записи происходит деление яркостей в соответствии с битностью и преобразование величин сигнала гамма кодированием

при записи в RAW и применением предварительных установок при записи в определённом формате. При записи в RAW установки цветового баланса не влияют на результат. Установки светочувствительности влияют. Остальные установки записываются в профайле, там находится экзиф файл, который показывает изображение в соответствии с установками. Увеличение светочувствительности ведёт к повышению контраста и уменьшает динамический диапазон. Шум матрицы искажает прямолинейный характер тональной кривой. Величины RGB зависят от цветового пространства. Визуально одинаковый цвет даёт в разных пространствах разные значения. Видимое изображение зависит от контраста монитора или проектора. Цветокоррекцию надо проводить при контрасте соответствующем задаче конечного показа. Цветовой охват (Gamut) большинства реальных объектов укладывается в пределы пространства sRGB. Воспроизведение на мониторе должно быть согласованно с цветовым пространством, в котором записан материал. Нарушение согласования ведёт к неправильной цветовой насыщенности изображения. При переходе на новое цветовое пространство необходимо конвертировать в него материал (Colr mappinng). В результате конвертирования цвета сохраняются, а их значения в RGB меняются.